

**DISEÑO DE UNA PICADORA AUTOMÁTICA DE TORONJAS  
PARA LA EMPRESA**

**DUAVE TECHNOLOGIES COMMERCIAL  
DTC**

**ALEX STEVEN ANGARITA PEÑA**

**JESÚS ORLANDO RUÍZ RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**DISEÑO DE UNA PICADORA AUTOMÁTICA DE TORONJAS  
PARA LA EMPRESA**

**DUAVE TECHNOLOGIES COMMERCIAL  
DTC**

**ALEX STEVEN ANGARITA PEÑA**

**JESÚS ORLANDO RUÍZ RAMIREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingenieros Mecatrónicos**

Director De Pasantía  
**CARLOS ARTURO CHANTRE**  
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado  
en cumplimiento de los requisitos  
exigidos por la Universidad  
Autónoma de Occidente para optar  
al título de Ingenieros Mecatrónicos

Ing. ANDRÉS FELIPE NAVAS  
Jurado

Ing. JORGE IVÁN VELANDIA  
Jurado

Santiago de Cali, Diciembre de 2006

Dedico este trabajo a Dios por haberme dado las fuerzas suficientes para salir adelante con esta carrera.

A mis padres Maria del Carmen Ramírez y Jesús Hernán Ruíz por haberme brindado todo su apoyo y colaboración en aquellos momentos difíciles de esta carrera, como la motivación necesaria para haber logrado esta meta.

A mis hermanos Luís Fernando, John Alexander y Víctor Alfonso para que este logro de haber culminado mi carrera les de fuerza y motivación para que salgan adelante y alcancen sus metas.

A todos mis familiares y de nuevo a mi madre por haberme aguantado todos estos años.

A la ciudad de Santiago de Cali y en especial a la Universidad Autónoma de Occidente, quienes me han dado la oportunidad de realizarme profesionalmente.

**JESÚS ORLANDO RUÍZ RAMÍREZ**

Este logro en mi vida fue inspirado en Dios, nuestro creador, y es dedicado especialmente a mi madre, Ana Consuelo, quién se esforzó y sacrificó enormemente para que cumpliera esta meta en mi vida, a mi abuelita linda, Luz María, quién junto con mi madre, siempre tuve su apoyo incondicional. A mi familia, que además de verme avanzar poco a poco, me dieron sabios consejos, y finalmente dedico este proyecto a mi hija, María Camila, que fue la personita que me dio el motivo principal para luchar en la vida. A todos, mi familia y amigos, muchas gracias; y a ti madre, mil y mil gracias.... Te amo.

**ALEX STEVEN ANGARITA PEÑA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestros más sinceros y profundos agradecimientos por habernos ayudado en el desarrollo de este trabajo a las siguientes personas:

A la empresa DTC y en especial a su gerente Pablo Emilio Duque, por habernos permitido el desarrollo de este trabajo en esta empresa.

Al Ing. Carlos Arturo Chantre, por su dirección y apoyo en todo momento, por su amistad, su compañerismo, sus sabios consejos y su gran colaboración en la realización del trabajo, además de sus ideas para el enriquecimiento de este.

A los ing. Edgar Torres, Héctor Fabio Rojas y Helmer Muñoz por sus conocimientos y aportes, los cuales fueron fundamentales.

A Carlos Domínguez por sus consejos y su gran aporte en la realización de este trabajo.

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>20</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>23</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>25</b>
<b>1. DESCRIPCION DEL PROYECTO</b>	<b>26</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES</b>	<b>26</b>
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>27</b>
1.2.1 Proceso de Reducción de Tamaño de la Fruta	27
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>28</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>28</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>28</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>29</b>
<b>3.1 LA EMPRESA</b>	<b>29</b>
<b>3.2 LOS OPERARIOS</b>	<b>29</b>
<b>3.3 AUTORES DEL PROYECTO</b>	<b>29</b>
<b>3.4 LA UNIVERSIDAD</b>	<b>30</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>31</b>
<b>4.1 CRONOGRAMA</b>	<b>32</b>
<b>5. MARCOS DE REFERENCIA</b>	<b>33</b>

<b>5.1 MARCO TEÓRICO</b>	<b>33</b>
5.1.1 Qué es Biotecnología	33
5.1.1.1 Biotecnología animal	33
5.1.1.2 Biotecnología vegetal	33
5.1.1.3 Biotecnología con microorganismos	34
5.1.1.4 Biotecnología ambiental	34
<b>6. PLANEACIÓN</b>	<b>35</b>
<b>6.1 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN</b>	<b>35</b>
6.1.1 Descripción del producto	35
6.1.2 Principales objetivos de marketing	35
6.1.3 Mercado primario	35
6.1.4 Mercado secundario	35
6.1.5 Premisas y restricciones	35
6.1.6 Partes implicadas	35
<b>7. DESARROLLO CONCEPTUAL</b>	<b>36</b>
<b>7.1 DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO DE LAS NECESIDADES</b>	<b>36</b>
<b>7.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS MEDIDAS Y SUS UNIDADES</b>	<b>37</b>
<b>7.3 RELACIÓN DE LAS MÉTRICAS CON LAS NECESIDADES</b>	<b>38</b>
<b>7.4 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL DISPOSITIVO</b>	<b>39</b>
7.4.1 Evaluación de las necesidades en productos competidores	40
7.4.2 Evaluación de las medidas en productos competidores	41
7.4.3 Valores ideales y marginales	42

<b>7.5 GENERACIÓN DE CONCEPTOS</b>	<b>43</b>
7.5.1 Clarificación del problema	43
7.5.1.1 Descripción del Producto	43
7.5.1.2 Necesidades	43
7.5.1.3 Especificaciones Técnicas	43
7.5.1.4 Caja Negra	43
7.5.1.5 Descomposición Funcional	44
7.5.2 Búsqueda externa	45
7.5.2.1 Fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño	46
7.5.2.2 Número de etapas de reducción en un proceso dado	46
7.5.2.3 Relación de reducción (R.R.)	48
7.5.2.4 Aparatos para la reducción de tamaño	48
7.5.2.5 Desintegración de sustancias fibrosas	53
7.5.2.6 Tamizado	56
7.5.2.7 Factores que afectan la eficiencia en el tamizado	58
7.5.2.8 La garganta de alimentación	59
7.5.2.9 Efecto de las cuchillas sobre el producto obtenido	60
7.5.2.10 Tipo de tamiz y velocidad del rotor	61
7.5.3 Búsqueda interna	63
7.5.3.1 Aislamiento del material por lotes	64
7.5.3.2 Mecanismo de corte	67
7.5.3.3 Automaticidad del sistema	69
7.5.4 Exploración sistematizada	70



7.5.4.1	Árbol de clasificación de conceptos	72
7.5.4.2	Refinamiento de la descomposición funcional	76
7.5.4.3	Tabla de combinación de conceptos	76
<b>7.6</b>	<b>SELECCIÓN DE CONCEPTOS</b>	<b>79</b>
7.6.1	Matriz de tamizaje de conceptos	80
7.6.2	Matriz de evaluación de conceptos	81
7.6.3	Especificaciones finales del producto	82
7.6.4	Casa de las calidades	84
<b>8.</b>	<b>DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA</b>	<b>86</b>
<b>8.1</b>	<b>ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO</b>	<b>86</b>
8.1.1	Arquitectura modular	86
8.1.2	Arquitectura integral	86
<b>8.2</b>	<b>RELACIÓN DE ELEMENTOS FÍSICOS Y FUNCIONALES</b>	<b>87</b>
<b>8.3</b>	<b>MODULARIDAD DEL CONJUNTO</b>	<b>88</b>
8.3.1	Modularidad tipo conectores	88
8.3.2	Modularidad tipo bus	88
8.3.3	Modularidad local o seccional	88
8.3.4	Modularidad mixta	88
8.3.5	Análisis de la distribución geométrica	91
8.3.5.1	Sistema de transmisión indirecto	91
8.3.5.2	Sistema de transmisión directo	93
8.3.6	Identificación de las interacciones fundamentales e incidentales	96
<b>8.4</b>	<b>DISEÑO INDUSTRIAL</b>	<b>99</b>

8.4.1	Evaluación del nivel de importancia del DI en el producto	99
8.4.1.1	Necesidades ergonómicas de la máquina	99
8.4.1.2	Necesidades estéticas de la máquina	100
8.4.1.3	Naturaleza del Producto	101
8.4.2	Evaluación de la calidad del diseño industrial	101
8.4.2.1	Calidad de las interfases de usuario	102
8.4.2.2	Requerimientos emocionales	102
8.4.2.3	Facilidades de Mantenimiento y Reparación	103
8.4.2.4	Uso apropiado de recursos	103
8.5	<b>DISEÑO PARA MANUFACTURA</b>	<b>104</b>
8.5.1	Análisis del diseño para manufactura	104
8.5.1.1	DPM en el desarrollo conceptual	104
8.5.1.2	DPM en el diseño a nivel de sistema	104
8.5.1.3	DPM en el diseño detallado	104
8.5.2	Diseño para ensamble	105
8.5.2.1	Maximización de la facilidad de ensamble	105
8.5.3	Costos de manufactura	106
8.5.3.1	Estimación de los costos de manufactura	106
8.5.3.2	Reducción de los costos de manufactura	112
8.5.4	Impacto del DPM sobre otros factores	114
8.6	<b>DISEÑO FINAL</b>	<b>115</b>
8.7	<b>PROTOTIPADO</b>	<b>118</b>
8.7.1	Clasificación del prototipado	118

8.7.1.1 Prototipado físico	118
8.7.1.2 Prototipado analítico	118
8.7.1.3 Prototipado completo	118
8.7.1.4 Prototipado Parcial	118
8.7.2 Prototipos utilizados	118
8.7.2.1 Prototipos Físico – Parcial	119
8.7.2.2 Prototipos Parcial – Analítico	120
<b>9. DISEÑO DETALLADO</b>	<b>121</b>
<b>9.1 SUBSISTEMA MECÁNICO</b>	<b>122</b>
9.1.1 Diseño del eje	122
9.1.1.1 Carga del eje de transmisión	123
9.1.1.2 Determinación del torque demandado por la máquina	136
9.1.1.3 Determinación del diámetro del eje	137
9.1.1.4 Análisis de esfuerzos	141
9.1.1.5 Velocidad crítica del eje	146
9.1.2 Cuchillas	147
9.1.3 Tamiz	148
9.1.4 Selección de la cuña	148
9.1.5 Selección de soporte y rodamientos	150
9.1.6 Selección de los sellos mecánicos	152
9.1.7 Selección del acoplamiento	154
<b>9.2 SUBSISTEMA ELÉCTRICO</b>	<b>155</b>
9.2.1 Diseño Diagrama de Fuerza ó Potencia	155

9.2.2	Diseño de Diagrama de Control ó Lógica Cableada	156
9.2.3	Selección del motor	157
9.2.4	Selección del contactor	160
9.2.5	Selección del relé térmico	161
<b>9.3</b>	<b>SUBSISTEMA ELECTRÓNICO</b>	<b>162</b>
9.3.1	Selección de las unidades de control	165
9.3.1.1	Desarrollo de unidad de control del proceso	168
9.3.1.2	Desarrollo de la unidad de control de visualización	170
9.3.2	Bus de comunicación I2C	170
9.3.2.1	Velocidad de transferencia	171
9.3.3	Diseño de circuitos electrónicos	172
9.3.3.1	Circuito para energizar el contactor del motor (MOT)	172
9.3.3.2	Circuito leer el contacto auxiliar y el térmico (AUXM-TERM)	173
9.3.3.3	Selección del sensor contador de toronjas (TOR)	174
9.3.3.4	Diseño del circuito para el sensor contador	175
9.3.3.5	Diseño del circuito de aviso de fallas (XFAL)	176
9.3.3.6	Diseño del circuito del zumbador (ZUM)	178
9.3.3.7	Diseño de circuitos de acondicionamiento de los pulsadores	179
9.3.3.8	Seguridad industrial en la máquina (FCA-FCB)	180
9.3.4	Diseño de software	181
9.3.4.1	Arquitectura de la unidad de control del proceso	181
9.3.4.2	Arquitectura de la unidad de comunicación y visualización	186

<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>192</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>194</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>195</b>

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Cronograma de actividades para cada semana	32
<b>Tabla 2.</b> Necesidades iniciales planteadas por el cliente	36
<b>Tabla 3.</b> Métrica de las necesidades	37
<b>Tabla 4.</b> Relación de las métricas con las necesidades	38
<b>Tabla 5.</b> Necesidades en productos competidores	40
<b>Tabla 6.</b> Medidas en productos competidores	41
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones Preliminares	42
<b>Tabla 8.</b> Tipo de fuerzas utilizadas en la industria alimenticia	46
<b>Tabla 9.</b> Tabla de Combinación de conceptos	76
<b>Tabla 10.</b> Tabla de combinación Concepto A	77
<b>Tabla 11.</b> Tabla de combinación Concepto B	77
<b>Tabla 12.</b> Tabla de combinación Concepto C	78
<b>Tabla 13.</b> Tabla de combinación Concepto D	78
<b>Tabla 14.</b> Criterios de selección a tener en cuenta en la matriz de tamizaje	79
<b>Tabla 15.</b> Matriz de tamizaje de conceptos	80
<b>Tabla 16.</b> Matriz de evaluación de conceptos	81
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones finales del producto	82
<b>Tabla 18.</b> Relación elementos físicos vs elementos funcionales	87
<b>Tabla 19.</b> Valoración del Diseño Industrial	100
<b>Tabla 20.</b> Evaluación de la calidad del DI: interfases de usuario	102
<b>Tabla 21.</b> Evaluación de la calidad del DI: requerimientos emocionales	102
<b>Tabla 22.</b> Evaluación de la calidad del DI: facilidad de mant/to. y reparación	103
<b>Tabla 23.</b> Evaluación de la calidad del DI: uso apropiado de recursos	103
<b>Tabla 24.</b> Descripción general de los componentes estándar	107
<b>Tabla 25.</b> Listado de componentes propios	108
<b>Tabla 26.</b> Especificación de costos del sistema mecánico	112
<b>Tabla 27.</b> Especificación de costos del sistema eléctrico	113
<b>Tabla 28.</b> Especificación de costos del sistema electrónico	113
<b>Tabla 29.</b> Costo total del sistema	114
<b>Tabla 30.</b> Tamaños de cuñas para flechas de tamaño en pulgadas	149
<b>Tabla 31.</b> Descripción de los términos del diagrama de control	157
<b>Tabla 32.</b> Características de motores trifásicos a 3600 rpm	158
<b>Tabla 33.</b> Características de motores trifásicos a 1800 rpm	159
<b>Tabla 34.</b> Referencias de contactores SIEMENS	160
<b>Tabla 35.</b> Referencias de relés SIEMENS	161
<b>Tabla 36.</b> Glosario de términos utilizados en el diagrama de bloques	164
<b>Tabla 37.</b> Tabla de comparación de los módulos de control	166

<b>Tabla 38.</b>	Características generales de la serie 18FXXX de los PIC's	169
<b>Tabla 39.</b>	Características técnicas del sensor infrarrojo	175
<b>Tabla 40.</b>	Significado de los mensajes en el grafcet	184

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Caja Negra	44
<b>Figura 2.</b> Descomposición funcional. Determinación de subfunciones críticas	44
<b>Figura 3.</b> Diagrama típico de una operación de reducción de tamaño	47
<b>Figura 4.</b> Rodillos trituradores	49
<b>Figura 5.</b> Corte esquemático de un molino de martillos	50
<b>Figura 6.</b> Tipos de molinos de disco	51
<b>Figura 7.</b> Molino de piedras	52
<b>Figura 8.</b> Molino de bolas	53
<b>Figura 9.</b> Molino de barras	53
<b>Figura 10.</b> Tamices de barra de sección triangular	57
<b>Figura 11.</b> Variables que influyen en los procesos de molienda	59
<b>Figura 12.</b> Introducción adecuada del material a procesar	60
<b>Figura 13.</b> Cuchillas de canto filoso cortando el material	61
<b>Figura 14.</b> Cuchilla de canto plano cortando el material	61
<b>Figura 15.</b> Efecto de la velocidad del rotor con el tamaño	62
<b>Figura 16.</b> Efecto del calibre del tamiz con el tamaño	62
<b>Figura 17.</b> Velocidad del rotor controlando el tamaño	62
<b>Figura 18.</b> Lote controlado por actuador	64
<b>Figura 19.</b> Lote controlado por compartimiento giratorio	65
<b>Figura 20.</b> Lote controlado por contenedor	66
<b>Figura 21.</b> Arreglo De Cuchillas Controladas Por Pistón	67
<b>Figura 22.</b> Arreglo de cuchillas controladas por 2 pistones	68
<b>Figura 23.</b> Empuje vertical de plataforma	68
<b>Figura 24.</b> Arreglo de cuchillas de movimiento vertical	69
<b>Figura 25.</b> Árbol de clasificación para almacenar o aceptar energía externa	72
<b>Figura 26.</b> Árbol de clasificación para convertir energía a movto rotacional	73
<b>Figura 27.</b> Árbol de clasificación para actuador neumático	74
<b>Figura 28.</b> Árbol de clasificación para actuador hidráulico	74
<b>Figura 29.</b> Árbol de clasificación para motor a gasolina	74
<b>Figura 30.</b> Árbol de clasificación para aplicar energía rotacional a la fruta	75
<b>Figura 31.</b> Refinamiento de la descomposición funcional	76
<b>Figura 32.</b> Productos competidores	84
<b>Figura 33.</b> Casa de las calidades	85
<b>Figura 34.</b> Esquema del producto	90
<b>Figura 35.</b> Distribución geométrica 1	92
<b>Figura 36.</b> Distribución geométrica 2	94
<b>Figura 37.</b> Distribución geométrica final	95



<b>Figura 38.</b>	Operación del rotor	96
<b>Figura 39.</b>	Esquema de elementos a conjuntos	97
<b>Figura 40.</b>	Interacciones incidentales	98
<b>Figura 41.</b>	Producto dominado por la tecnología o por el usuario	101
<b>Figura 42.</b>	Esquema del los costos de manufactura	106
<b>Figura 43.</b>	Diseño final	115
<b>Figura 44.</b>	Vista explosionada de la máquina	116
<b>Figura 45.</b>	Vista explosionada de la cámara de molienda	117
<b>Figura 46.</b>	Clasificación de prototipos realizados	119
<b>Figura 47.</b>	Aspecto físico de una cuchilla de la máquina	124
<b>Figura 48.</b>	Corte transversal de la tolva y el ducto para la salida del material	125
<b>Figura 49.</b>	Diagrama de cuerpo libre tridimensional para el eje	127
<b>Figura 50.</b>	Diagrama de cuerpo libre de la viga en el plano XY	127
<b>Figura 51.</b>	Representación equivalente de cargas en la viga en el plano XY	128
<b>Figura 52.</b>	Fuerza de oposición que ejerce la fruta sobre el rotor	130
<b>Figura 53.</b>	Representación de cargas en la viga en el plano XZ	131
<b>Figura 54.</b>	Diagrama de cargas en plano XY y XZ	132
<b>Figura 55.</b>	Diagrama de cortantes en plano XY y XZ	133
<b>Figura 56.</b>	Diagrama de momentos	134
<b>Figura 57.</b>	Diseño final del eje	141
<b>Figura 58.</b>	Diagrama de flujo para análisis de esfuerzo estático	143
<b>Figura 59.</b>	Ubicación de la cuña en el eje	149
<b>Figura 60.</b>	Sello mecánico tipo 650	153
<b>Figura 61.</b>	Ubicación del sello en el eje	153
<b>Figura 62.</b>	Aspecto físico del acoplamiento	154
<b>Figura 63.</b>	Diagrama de fuerza implementada en la máquina	155
<b>Figura 64.</b>	Diagrama de control implementado en la máquina	156
<b>Figura 65.</b>	Motor Siemens 1LA7 112-4YA60	160
<b>Figura 66.</b>	Diagrama de bloques del subsistema electrónico	163
<b>Figura 67.</b>	Distribución de pines del PIC18F252	170
<b>Figura 68.</b>	Red I2C manejada por un solo maestro	171
<b>Figura 69.</b>	Circuito para energizar el contactor del motor	172
<b>Figura 70.</b>	Circuito para detectar el estado del contactor	173
<b>Figura 71.</b>	Sensor infrarrojo OSIRIS XU2 N18NP341D	175
<b>Figura 72.</b>	Circuito de acople del sensor a la unidad de control	176
<b>Figura 73.</b>	Circuito del relé de estado sólido	177
<b>Figura 74.</b>	Circuito del zumbador	178
<b>Figura 75.</b>	Acondicionamiento de la señal de los pulsadores	179
<b>Figura 76.</b>	Circuito detector del estado de las puertas de la máquina	180
<b>Figura 77.</b>	DF de la unidad de control del proceso	181
<b>Figura 78.</b>	DF de subrutina de configuración del I2C modo maestro	182
<b>Figura 79.</b>	Graficet de la unidad de control del proceso	183
<b>Figura 80.</b>	DF de subrutina del envío de datos por I2C	185
<b>Figura 81.</b>	DF de la unidad de comunicación y visualización	186
<b>Figura 82.</b>	DF de subrutina de configuración del I2C modo esclavo	187

<b>Figura 83.</b>	DF de subrutina de configuración para la comunicación RS485	188
<b>Figura 84.</b>	DF de valores de configuración del LCD	189
<b>Figura 85.</b>	LADDER de la unidad de control de visualización y comunicación	190
<b>Figura 86.</b>	DF de subrutina de envío de datos por RS485	191

## LISTADO DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
<b>Apéndice A.</b> Productos DTC	195
<b>Apéndice B.</b> Productos competidores	199
<b>Apéndice C.</b> Molino de rodillos	208
<b>Apéndice D.</b> Molinos gravitatorios (molino de bolas)	209
<b>Apéndice E.</b> Desintegración de sustancias fibrosas	210
<b>Apéndice F.</b> Constante de NEUBER	214
<b>Apéndice G.</b> Soporte y rodamientos	215
<b>Apéndice H.</b> Sello mecánico	216
<b>Apéndice I.</b> Especificaciones técnicas del motor 1LA7 112-4YA60	219
<b>Apéndice J.</b> Transferencia de bit's en el bus I2C	221
<b>Apéndice K.</b> Características del microcontrolador PIC 18F252	232
<b>Apéndice L.</b> Sensor Osiris XU2 N18NP341D	233
<b>Apéndice M.</b> Programa en ladder	235
<b>Apéndice N.</b> Programa en lógica	238
<b>Apéndice O.</b> Módulo LCD	242
<b>Apéndice P.</b> Planos mecánicos	244
<b>Apéndice Q.</b> Planos electrónicos	265

## **GLOSARIO**

**AGLOMERACIÓN:** unir o juntar algún tipo material hasta llegar al punto de generarse un o desborde o rebose de este sobre una pieza recolectora.

**AUTOMATIZACIÓN:** actividad en la cual se logra optimizar y mejorar la eficacia de un producto o proceso.

**BENCHMARKING:** cuadro grafico en el cual se evalúa y se compara las necesidades del cliente con un determinado número de productos competidores.

**CIZALLA:** operación mecánica que consiste en el desprendimiento de material de un cuerpo.

**COMPRESIÓN:** operación mecánica que consiste en el aplastamiento o compresión de un cuerpo.

**CRIBA:** tamiz pequeño.

**DESMENUZAR:** acción de desprender material de algún cuerpo.

**DISEÑO CONCURRENTES:** metodología de diseño en la cual las diferentes actividades o tareas a desempeñar por parte del grupo de trabajo, se realizan de manera simultánea.

**MATERIALES CRISTALINOS:** cuerpos conformados estructuralmente por partículas cristalinas.

**MATERIALES DÚCTILES:** materiales que tienden a modificar sus dimensiones como lo es su longitud por la acción de alguna fuerza externa aplicada.

**MATERIALES FIBROSOS:** aquellos materiales que contienen en su interior cantidades apreciables de líquido.

**MATERIALES FRÁGILES:** materiales que tienden a romperse o quebrantarse por la acción de alguna fuerza externa aplicada.

**MECATRÓNICA:** combinación sinérgica de la ingeniería electrónica, mecánica, computación y sistemas informáticos, que involucra los sistemas de control para diseñar productos o procesos inteligentes.

**MÉTRICA:** frase técnica que representa una o más necesidades.

**PALATABILIDAD:** cualidad de ser grato al paladar de un alimento.

**PIC:** (Programmable Integrated Circuit) Circuito Integrado Programable

**PLC:** (Programmable Logic Controller) Controlador Lógico Programable. Dispositivo electrónico utilizado para controlar y/o manipular variedad de equipos o procesos industriales.

**PULVERULENTO:** dicese de las sustancias sólidas que se conforman por partículas de tamaño diminuto.

**ROBUSTO:** dicese de la rigidez o grado de resistencia que posee un artículo o producto para ser afectado por algún agente externo.

**SIMULACIÓN:** representación, cuasireal de un proceso, el cual se realiza con el fin de obtener una aproximación de cómo dicho proceso podría comportarse realmente.

**TAMIZ:** superficie conformada por una gran cantidad de orificios, que se utiliza para separar y/o clasificar cuerpos de diferente tamaño.

**TOLVA:** caja en forma de pirámide o cono invertido y abierto por debajo, dentro del cual se echan granos u otros cuerpos para que caigan poco a poco.

**TRITURADORA DE MANDÍBULAS:** máquina utilizada para destrozar y desintegrar materiales abrasivos, compuesta por un arreglo de cuchillas en forma de quijadas.

**UNTUOSIDAD:** propiedad que presentan las sustancias que poseen alto grado de adherencia con otros materiales.

## RESUMEN

Ante los problemas ambientales y la relevancia del saneamiento de ríos y lagos para la recuperación del agua, elemento fundamental para la vida, existen empresas que se dedican a su recuperación por medio de productos biológicos. Es así como se aborda el proceso de picado de toronjas, para que una empresa de estas agilice y mejore este proceso y de esta manera aumente significativamente su capacidad de producción.

Para la realización de este proyecto, se ha seguido un proceso de diseño y desarrollo como herramienta fundamental, el cual se define como un proceso organizado para concebir y diseñar un dispositivo, que toma como punto de partida las necesidades planteadas por el cliente.

Se comenzó con una planificación, que permitió obtener una definición clara y concisa del tipo de producto que se desea desarrollar (**Picadora Automática de Toronjas**) en base a las necesidades que establece el cliente, para luego convertirlas en especificaciones técnicas. Posteriormente, se realiza la etapa de desarrollo conceptual (generación, selección y prueba de conceptos), donde se estudia y analiza de manera detallada el problema general con el fin de determinar las partes críticas que el sistema presenta y así llevar a cabo una generación de las posibles soluciones que podría tener tanto estas partes como el problema en general; luego se valoraran y evalúan estos conceptos en el árbol de clasificación con el objetivo de determinar la solución más adecuada.

Finalizado el desarrollo conceptual, se entra a la etapa de diseño a nivel de sistema en donde se realiza el análisis de la arquitectura para el dispositivo, la cual permite plantear y mostrar la distribución de sus componentes que conforman todo el sistema, además de las interacciones incidentales y fundamentales que se presentan y de la organización de estas en conjuntos. También se trata la arquitectura del sistema electrónico para los diferentes módulos que lo componen y el diseño general del dispositivo a nivel de sistema, sub-sistema y componentes con su correspondiente tipo de arquitectura.

Para el diseño industrial, los resultados parten del análisis desarrollado tanto de las necesidades ergonómicas como estéticas, y estos indican la importancia que deben tener en el esfuerzo de desarrollo por parte de los diseñadores, así como también el tipo de orientación del desarrollo (Usuario o Tecnología).

En el DPM (Diseño Para Manufactura), se analiza la participación de éste en las etapas de diseño mencionadas, así como también el análisis correspondiente de los costos de fabricación y el diseño para ensamble, que como resultado brinda una estimación del tiempo de montaje y la posibilidad de disminuir costos mediante el método de integración de piezas.

Finalmente, este proceso entregó un diseño óptimo, capaz de aumentar el nivel de producción de la empresa, ayudando así a que ésta sea más competitiva. El diseño del dispositivo abarcó las necesidades que el cliente había planteado, y su arquitectura del sistema de control se puede adaptar en otras aplicaciones industriales, lo cual brinda flexibilidad ante diferentes situaciones o requerimientos.



## INTRODUCCIÓN

La empresa DTC (Duave Technologies Comercial) es una PyME (Pequeña y Mediana Empresa) que fabrica productos biotecnológicos para el saneamiento ambiental de ríos y lagos ante los males ambientales que se presentan día a día en el ecosistema. Actualmente, DTC desea automatizar sus procesos de producción, específicamente en la etapa del procesamiento de la fruta, donde dicho proceso es realizado de manera manual y complicada, por lo cual esta empresa ha visto la necesidad de mejorarlo, mediante la adquisición de un dispositivo que le permita picar de manera más eficiente su ingrediente base: La Toronja.

Lo que se busca con la realización de este proyecto, es obtener la información que rodea todos los aspectos del problema a tratar, teniendo siempre en cuenta los requerimientos del cliente, para realizar un proceso de diseño concurrente y adaptativo que arroje como resultado un producto eficiente, el cual brinde satisfacción y seguridad al usuario, teniendo en cuenta los detalles más básicos hasta los componentes principales del sistema, así como la utilización de materiales estándar al costo más bajo posible, y de igual manera con respecto a sus componentes propios. Es por eso que se desarrolla una metodología de diseño la cual garantice que el producto sea concebido a la medida.

## **1. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

En este capítulo se definen los parámetros para llevar a cabo el proyecto en la empresa DTC.

### **1.1 ANTECEDENTES**

Para realizar el proceso de picado de toronjas, la empresa DT Comercial actualmente cuenta con dos equipos para efectuar esta tarea. El primero es una licuadora industrial de 5 litros, la cual no ofrece buena eficiencia en su trabajo, ya que para garantizar que el producto salga de manera deseada, se requiere cortar las toronjas previamente antes de suministrarse a la máquina; esto se hace también, con el fin que el material a procesar ocupe la mayor cantidad de espacio en la licuadora, para minimizar así los espacios libres que quedan. Otro aspecto desfavorable que presenta este equipo el cual es muy grave para la empresa, es que el proceso como tal de la máquina no es continuo, al realizarse este por lotes, lo cual limita en gran medida su nivel de productividad.

El otro equipo que tiene esta empresa es un molino convencional (molino con tornillo sin fin), el cual sí ofrece continuidad en su operación, lo que hace que sea un poco mas eficaz pero también presenta el mismo inconveniente de la licuadora, al requerir que el material esté previamente cortado en el momento de introducirse para garantizar que el tamaño del producto que se obtiene sea el deseado.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**1.2.1 Proceso de Reducción de Tamaño de la Fruta.** En el proceso de obtención de sus productos, básicamente la empresa DTC realiza una serie de subprocesos que se mencionan a continuación:

- Lavado de las toronjas.
- Almacenamiento de estas en un tanque (temporalmente).
- Picado de cada una de las toronjas. Triturado a través de una máquina (licuadora y/o molino convencional), obteniendo una especie de mezcla de vagazo y jugo.
- Adición y mezcla del componente activo biológico (principal) al líquido filtrado.
- Filtrado para separar lo que es el jugo extraído del vagazo.
- Embotellamiento de la sustancia.

Centrándose en el tercer paso (proceso de picado de la fruta), actualmente la empresa cuenta con dos operarios que realizan esta labor utilizando cuchillos. Como se puede apreciar, el tiempo de producción en esta etapa depende de los operarios, pues son los que manipulan directamente la fruta, y dependiendo de muchos factores, se aumenta o se disminuye el tiempo de producción, agregando además, el riesgo latente donde algún operario pueda salir lesionado debido a la manipulación directa de instrumentos corto punzantes. Esto genera la necesidad a la empresa de automatizar este proceso con el fin de reducir riesgos, disminuir el índice de manipulabilidad en el proceso, y aumentar significativamente la capacidad de producción.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un dispositivo mecatrónico que sea capaz de realizar el proceso de picado de toronjas para la microempresa **Duave Technologies Commercial**.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender todo el proceso que realiza la empresa DTC, y en particular la manera en que se lleva a cabo el proceso de picado.
- Identificar las necesidades principales de la empresa con respecto al dispositivo que se requiere.
- Desarrollar varias alternativas, las cuales permitan solucionar el problema.
- Efectuar un análisis detallado para determinar la idea más óptima y adecuada.
- Plantear la idea seleccionada como solución más acorde al problema.
- Tener en cuenta en el diseño, la utilización de materiales y dispositivos estándares o de fácil adquisición en el mercado local, que permitan un fácil mantenimiento, limpieza y reparación.

### **3. JUSTIFICACION**

Al desarrollar este proyecto existen diversos beneficios que se mencionan a continuación:

#### **3.1 LA EMPRESA**

Es la que se ve directamente beneficiada, debido a que por medio de este proyecto va a lograr aumentar la capacidad de producción. Además, la empresa al mejorar su tiempo y nivel de producción, lograría un mayor crecimiento, el cual le permitiría un mayor reconocimiento a nivel nacional.

#### **3.2 LOS OPERARIOS**

Aunque la primera impresión cuando se habla de automatización es la sustitución de la mano de obra, este proyecto se enfoca en la optimización del tiempo de trabajo, pero a su vez busca la seguridad del operario al no exponerlo en la manipulación directa de instrumentos peligrosos, y además, incentiva tanto a la empresa como al operario a adquirir una capacitación para que éste logre manejar un dispositivo mecatrónico, y también esté en posición de tomar decisiones con respecto al proceso en sí, y de esta manera, su trabajo no sea repetitivo, sino más decisivo e importante en dicho proceso.

#### **3.3 AUTORES DEL PROYECTO**

El beneficio para los que desarrollan el proyecto en cuanto a la oportunidad de afianzar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, además de ser este un medio para optar al título de Ingenieros Mecatrónicos.

### **3.4 LA UNIVERSIDAD**

Con el desarrollo de este tipo de proyectos, se incentiva a los estudiantes de últimos semestres a afianzar sus conocimientos adquiridos durante su formación académica, y ayudan a satisfacer algunas necesidades que actualmente presentan muchas industrias.

En general, es muy importante el desarrollo de proyectos a nivel industrial y de automatización en la medida en que se fomenta a la industria a adquirir tecnología a nivel nacional (pues importar maquinaria resulta muy costoso), y por lo tanto, se le da oportunidad a estudiantes que aunque no poseen un grado de experiencia alto, tienen el conocimiento, ganas y disciplina necesarias para desarrollar proyectos a nivel industrial.

#### **4. METODOLOGÍA**

Se seguirá un proceso de diseño concurrente y estructurado, el cual permitirá al grupo de diseñadores realizar un diseño adaptativo. Para esto se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- ✓ Como primera instancia, se deberá identificar y entender totalmente la secuencia de actividades que la empresa efectúa, para poder concebir parte de su producto final (toronja procesada), en especial la parte del proceso donde se pica el material (fruta).
- ✓ Realizar de manera completa el proceso de diseño y desarrollo de un producto, el cual consta básicamente de los siguientes aspectos:
  - Determinar en un listado las necesidades que la empresa tiene respecto a este proceso.
  - Realizar una etapa de generación de conceptos, en donde se acudirá a investigaciones a través de libros, documentos, catálogos, Internet, etc., con el fin de conocer máquinas modernas automatizadas que realicen tareas similares, las cuales brinden ideas para así desarrollar varias alternativas que permitan solucionar el problema.
  - Realizar simulaciones en 3D de cada uno de los conceptos generados para tener más claridad sobre el funcionamiento de cada uno de ellos, y determinar ventajas y desventajas.
  - Seleccionar el concepto más adecuado, para construir un modelo preliminar el cual permita llevar a cabo un proceso de pruebas y refinamiento lo cual ayudará a obtener finalmente un diseño definitivo del sistema.

## 4.1 CRONOGRAMA

**Tabla 1.** Cronograma de actividades para cada semana

ACTIVIDADES	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Documentación de la empresa																							
Identificación de las necesidades del cliente																							
Generación de conceptos																							
Selección de conceptos																							
Prueba de conceptos																							
Definición de la arquitectura del sistema mecánico																							
Definición de la arquitectura del sistema electrónico																							
Diseño industrial																							
Diseño para manufactura																							
Documentación detallada																							
Preparación del documento final																							

**Nota:** La primera semana (01) comienza el día Lunes, 15 de Mayo de 2006. La última semana (23) comienza el día Martes, 17 de Octubre de 2006. **DURACIÓN DEL PROYECTO: 6 MESES**



## 5. MARCOS DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO TEÓRICO

**5.1.1 Qué es Biotecnología.** La biotecnología se define como un proceso biológico en el cual se hace el uso o manipulación de organismos vivos, o de compuestos obtenidos de estos organismos, para obtener productos de valor para el hombre. Los primeros organismos utilizados fueron microorganismos (como bacterias y hongos), aunque posteriormente se emplearon plantas y más recientemente animales, los cuales se emplearon para la elaboración de la cerveza o el pan, la obtención de antibióticos, o la depuración de aguas residuales. La biotecnología moderna ahora utiliza organismos modificados genéticamente para obtener beneficios aún mayores, o incluso procedimientos completamente nuevos.

Con este tipo de técnicas, se ha mejorado notablemente el bienestar del hombre y la conservación de las especies animales y vegetales. Esta metodología también ha comenzado a revolucionar el campo de la prevención de enfermedades, ya que los investigadores pueden utilizar microorganismos totalmente inofensivos en las vacunas. Otro beneficio importante que se ha visto con esta técnica, es el cuidado y la conservación de cultivos, consiguiéndose así el mejoramiento del medio ambiente. Las metodologías de biotecnología existentes en la actualidad son las siguientes:

**5.1.1.1 Biotecnología animal.** Es la técnica en la que se pueden introducir genes en embriones animales fecundados; un ejemplo lo constituye la obtención de leche de oveja con alfa-1-antitripsina (utilizada para el tratamiento del enfisema pulmonar), gracias a la incorporación en el animal del gen humano que codifica esta enzima. Esta misma metodología se ha empleado en ovejas que producen leche con el factor IX sanguíneo, que es requerido por las personas que padecen hemofilia.

**5.1.1.2 Biotecnología vegetal.** Con la biotecnología vegetal, se pueden desarrollar cultivos y plantas con ventajas como la resistencia a las plagas y a la sequía, así como mejorar la palatabilidad y el contenido nutritivo de las distintas especies. Gracias a las técnicas modernas que permiten la introducción de genes específicos en las plantas, se han obtenido mejores resultados que con los cruces de plantas desarrollados por métodos tradicionales que implican la transferencia de un gran número de genes.

**5.1.1.3 Biotecnología con Microorganismos.** En esta biotecnología se utilizan microorganismos para un sinnúmero de aplicaciones, como lo es la eliminación de manchas en los tejidos (gracias a la incorporación de enzimas en los detergentes que atacan proteínas y ácidos grasos), o la conversión de harina de maíz en sirope (utilizado para endulzar refrescos, galletas y pasteles).

**5.1.1.4 Biotecnología Ambiental.** La biotecnología ambiental hace referencia a la aplicación de los procesos biológicos modernos en la protección y restauración de la calidad del medio ambiente. Un área de rápido desarrollo dentro de la biotecnología ha sido el uso de sistemas biológicos para la reducción de la contaminación del aire o de los ecosistemas acuáticos y terrestres; para ello, se utilizan microorganismos (también plantas) que son capaces de degradar un gran número de compuestos como los pesticidas clorados, hongos, naftaleno, tolueno, anilina, maleza y los metales pesados.

Como se puede observar, la biotecnología vegetal se ocupa de aspectos relacionados con la protección y restauración de la calidad de los suelos y terrenos vegetales, donde su objetivo es controlar la invasión de plagas, hongos o cualquier tipo de maleza que se puedan apoderar de estos cultivos ocasionando su desaparición y reproducción. Con este método se logra de manera muy satisfactoria evitar que este tipo de seres vivos (en especial los que son muy vulnerables a plagas) sean menos propensos a adquirir alguno de estos males.

**DT COMMERCIAL S.A.**, es una empresa colombiana de carácter científico dedicada desde hace varios años a la fabricación de productos biológicos para el cuidado y conservación de recursos ambientales y vegetales. Esta compañía ha desarrollado novedosos productos que actualmente se aplican en el saneamiento y limpieza de derrames de petróleo crudo y sus derivados, en océanos, ríos, lagos y suelos, liberándolos del efecto contaminante y recuperando la germinación de especies fundamentales en los ecosistemas.

Estas soluciones ambientales se complementan con el desarrollo de una línea completa de productos naturales y biodegradables de amplio espectro, para el tratamiento de aguas residuales, oxigenación intensiva, eliminación de olores contaminantes y erradicación de plantas no deseadas. (ver **Apéndice A**).

## **6. PLANEACIÓN**

### **6.1 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN**

#### **6.1.1 Descripción del producto**

- Picadora automática de toronjas

#### **6.1.2 Principales objetivos de marketing**

- Apoyar a la empresa DTC para que se consolide en el mercado de productos biológicos.
- Producto que se adapta fácilmente a las condiciones de manipulación ingresadas por el usuario.
- Establecer las bases para el desarrollo de nuevos productos.

#### **6.1.3 Mercado Primario**

- Industrias y empresas que realicen actividades de procesamiento de alimentos

#### **6.1.4 Mercado Secundario**

- Centros de investigación y prueba para el desarrollo de nuevos productos
- Industrias que requieran manipulación precisa de alimentos

#### **6.1.5 Premisas y restricciones**

- Sistema automático y de fácil manejo
- Visualización de la cantidad de material procesado al final del ciclo
- Liviano y fácil de transportar
- Información sonora al culminar tarea
- Sistema con apagado automático ante ausencia de material
- Sistema con señales de aviso ante cualquier tipo de fallas

#### **6.1.6 Partes implicadas**

- Compradores y usuarios
- Distribuidores y vendedores

## 7. DESARROLLO CONCEPTUAL

### 7.1 DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO DE LAS NECESIDADES

Las necesidades son primordiales a la hora de iniciar un diseño de un producto, debido a que ellas son las que definen las especificaciones y características principales que deben dar forma y estructura a dicho diseño. Sin unas necesidades iniciales planteadas directamente por el cliente, no hay un horizonte a seguir. En el caso específico de este proyecto, las necesidades planteadas por el cliente fueron determinantes y se complementaron con necesidades propias, las cuales le dieron un toque distintivo al sistema tanto a nivel de estética como a nivel de seguridad industrial y automaticidad. A continuación se muestra el listado de las necesidades que surgieron en este proyecto.

**Tabla 2.** Necesidades iniciales planteadas por el cliente

	<b>Identificación de las Necesidades</b>	<b>Imp</b>
<b>01</b>	El sistema debe ser rápido	4
<b>02</b>	El sistema se debe de adaptar al rango de tamaños de las toronjas	2
<b>03</b>	El sistema debe de ser transportable	3
<b>04</b>	El consumo de energía del sistema debe de ser óptimo	3
<b>05</b>	La vibración del sistema debe ser mínima	1
<b>06</b>	El sistema debe ser lo más silencioso posible	3
<b>07</b>	El sistema debe interactuar con el usuario	4
<b>08</b>	El sistema se debe de apagar al detectar la ausencia de frutas	5
<b>09</b>	El sistema debe mostrar la cantidad de frutas procesadas	5
<b>10</b>	El sistema debe ser estéticamente agradable	4
<b>11</b>	El sistema debe ser económico	4
<b>12</b>	El sistema debe ser de fácil ajuste e instalación al mantenimiento	3
<b>13</b>	El sobrecalentamiento del sistema debe ser admisible	3
<b>14</b>	El sistema debe generar señales de aviso ante algún evento	4
<b>15</b>	El sistema debe soportar largas jornadas de trabajo	4
<b>16</b>	El sistema debe ser seguro	5
<b>17</b>	El sistema debe ser de fácil manejo	5
<b>18</b>	El sistema debe de ser confiable	5

## 7.2 ESTABLECIMIENTO DE LAS MEDIDAS Y SUS UNIDADES

Con las necesidades del proyecto definidas, el paso a seguir es asociar estas necesidades con unidades de medida (**Tabla 3**), con el fin de convertir estos planteamientos del cliente en valores técnicos

**Tabla 3.** Métrica de las necesidades

Nº	Necesidad	Medida	Unidad	Imp.
1	1	Tiempo de operación del sistema	min	3
2	2	Tamaño de la fruta a procesar	cm	2
3	3	Peso total del sistema	Kg	3
4	4	Potencia del sistema	watt	4
5	5	Vibración del dispositivo	Hz	2
6	6	Intensidad de ruido del sistema	dB	3
7	7	Comunicación con el usuario	Bin	5
8	8	Apagado automático del sistema	Bin	5
9	9	Visualización de cantidad de material procesado	Bin	5
10	10	Estética del dispositivo	Subj	4
11	11	Costo del sistema	Pesos (\$)	5
12	12	Tiempo de instalación y mantenimiento	Minutos	2
13	13	Temperatura en funcionamiento	°C	3
14	13,14,16,17	Adaptabilidad al ambiente industrial	Subj	5
15	13,15,16,18	Tiempo de funcionamiento diario	Horas	3

<b>Tabla 4.</b> Relación de las Métricas con las Necesidades  <b>Nivel De Prioridad</b>  3 -> Deficiente 5 -> Regular 9 -> Buena		#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Métrica	Tiempo de operación del Sistema	Tamaño de la fruta a procesar	Peso total del sistema	Potencia del sistema	Vibración del dispositivo	Intensidad de ruido del sistema	Comunicación con el usuario	Apagado automático del sistema	Visualización de cantidad de material procesado	Estética del dispositivo	Costo del sistema	Tiempo de instalación y mantenimiento	Temperatura en funcionamiento	Adaptabilidad al ambiente industrial	Tiempo de funcionamiento diario
#	Necesidad	Imp.															
01	El sistema debe ser rápido	4	5														
02	El sistema se debe de adaptar al rango de tamaños de las toronjas	2		3													
03	El sistema debe de ser transportable	3			5												
04	El consumo de energía del sistema debe de ser óptimo	3				5											
05	La vibración del sistema debe ser mínima	1					3										
06	El sistema debe ser lo más silencioso posible	3						5									
07	El sistema debe interactuar con el usuario	4							9								
08	El sistema se debe de apagar al detectar la ausencia de frutas	5								9							
09	El sistema debe mostrar la cantidad de frutas procesadas	2									3						
10	El sistema debe ser estéticamente agradable	4										5					
11	El sistema debe ser económico	4											5				
12	El sistema debe ser de fácil ajuste e instalación al mantenimiento	3												5			
13	El sobrecalentamiento del sistema debe ser admisible	3													5	5	5
14	El sistema debe generar señales de aviso ante algún evento	4														9	
15	El sistema debe soportar largas jornadas de trabajo	4															5
16	El sistema debe ser seguro	5														9	9
17	El sistema debe ser de fácil manejo	5														9	
18	El sistema debe de ser confiable	5															9
TOTAL (%)		100	4,02	1,21	3,02	3,02	0,61	3,02	7,24	9,05	1,21	4,02	4,02	3,02	3,02	28,37	25,15

### 7.3 RELACIÓN DE LAS MÉTRICAS CON LAS NECESIDADES

Como se mostró anteriormente, en este cuadro se enseña la relación entre las necesidades planteadas por el cliente (**Tabla 2**) y las métricas definidas para clasificar cada una de estas necesidades (**Tabla 3**). Este cuadro ahora se muestra de manera más detallada (**Tabla 4**), el cual permite obtener unas ponderaciones que ayudan a identificar de mejor manera el nivel de prioridad e importancia que tendrán cada uno de estos aspectos técnicos.

### 7.4 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL DISPOSITIVO

**7.4.1 Evaluación de las Necesidades en Productos Competidores (“Benchmarking”).** La evaluación de las necesidades planteadas en productos competidores se realizó mediante un cuadro gráfico (**Tabla 5**) que permitió evaluar y comparar las características que ofrecen los diversos dispositivos y/o productos de los competidores escogidos. Para el desarrollo de este benchmarking competitivo, se decidió trabajar con tres tipos de máquinas utilizadas para el procesamiento de alimentos, las cuales son fabricadas por dos empresas: se tiene la marca RETSCH (ref. SM-2000 y SM – 100), fabricante de máquinas de molino de martillos, y TORNADO que fabrica licuadoras industriales (ver **APÉNDICE B**). Para criterio de evaluación se trabaja en un rango de 1 a 5, donde 1 es una valoración relevante muy baja, mientras que 5 es una valoración relevante muy alta. Esto como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Necesidades en productos competidores

#	Necesidad	imp	TORNADO	RETSCH SM-100	RETSCH SM-2000
01	El sistema debe ser rápido	4	••••	•••••	•••••
02	El sistema se debe de adaptar al rango de tamaños de las toronjas	2	••••••	••••	••••
03	El sistema debe de ser transportable	3	•	••••••	••••••
04	El consumo de energía del sistema debe de ser óptimo	3	••••	••••••	••••••
05	La vibración del sistema debe ser mínima	1	••••	•••••	•••••
06	El sistema debe ser lo más silencioso posible	3	••	••••	••••
07	El sistema debe interactuar con el usuario	4	•	•	••
08	El sistema se debe de apagar al detectar la ausencia de frutas	5	•	•	•
09	El sistema debe mostrar la cantidad de frutas procesadas	2	•	•	•
10	El sistema debe ser estéticamente agradable	4	••	••••	•••••
11	El sistema debe ser económico	4	•••••	••••	••
12	El sistema debe ser de fácil ajuste e instalación al mantenimiento	3	•••••	•••••	•••••
13	El sobrecalentamiento del sistema debe ser admisible	3	••••	•••••	•••••
14	El sistema debe generar señales de aviso ante algún evento	4	•	•	••••
15	El sistema debe soportar largas jornadas de trabajo	4	•••••	••••••	••••••
16	El sistema debe ser seguro	5	•	••••••	••••••
17	El sistema debe ser de fácil manejo	5	••••••	••••••	••••••
18	El sistema debe de ser confiable	5	•••••	••••••	••••••



**7.4.2 Evaluación de las Medidas en Productos Competidores.** Al igual como se hizo en el cuadro anterior (**Tabla 5**), se procede a realizar otro cuadro que muestre la relación entre las métricas y dichos productos con el propósito de obtener más características técnicas que permitan tener referencias técnicas en el desarrollo de este proyecto. Esta tabla se muestra a continuación.

**Tabla 6.** Medidas en productos competidores

#	Métrica	imp	Unid	TORNADO	RETSCH SM-100	RETSCH SM-2000
01	Tiempo de operación del sistema	3	min.	15	10	7
02	Tamaño de la fruta a procesar	2	cm	8	6	8
03	Peso total del sistema	3	Kg	45	68	119
04	Potencia del sistema	4	watt	1500	1500	1500
05	Vibración del dispositivo	2	Hz	-	-	-
06	Intensidad de ruido del sistema	3	dB	-	84	87
07	Comunicación con el usuario	5	Bin	NO	NO	SÍ
08	Apagado automático del sistema	5	Bin	NO	NO	NO
09	Visualización de cantidad de material procesado	5	Bin	NO	NO	NO
10	Estética del dispositivo	4	Subj	Regular	Buena	Muy Buena
11	Costo del sistema (millones de pesos)	5	\$	3,3	16,28	30,51
12	Tiempo de instalación y mantenimiento	2	min	5	3	3
13	Temperatura en funcionamiento	3	°C	-	-	-
14	Adaptabilidad al ambiente industrial	5	Subj	Regular	Muy Buena	Muy Buena
15	Tiempo de funcionamiento diario	3	Hor.	10	-	-

**7.4.3 Valores Ideales y Marginales.** Después de obtener los parámetros técnicos y asignar las unidades correspondientes para cada una de las necesidades planteadas, se proponen valores que establecen restricciones, con las cuales se determinan las metas de diseño. Estas son finalmente, las especificaciones preliminares del dispositivo:

**Tabla 7.** Especificaciones Preliminares

<b>Nº</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Marginal</b>	<b>Valor Ideal</b>
<b>01</b>	Tiempo de operación del sistema	Min	7-15	<10
<b>02</b>	Tamaño de la fruta a procesar	Cm	10 – 15	>15
<b>03</b>	Peso total del sistema	Kg	70- 100	<90
<b>04</b>	Potencia del sistema	Watt	>2000	<4000
<b>05</b>	Vibración del dispositivo	Hz	10 – 20	<5
<b>06</b>	Intensidad de ruido del sistema	dB	70 – 90	<87
<b>07</b>	Apagado automático del sistema	Bin	NO	SI
<b>08</b>	Visualización de cantidad de material procesado	Bin	NO	SI
<b>09</b>	Estética del dispositivo	Subj	BUENA	EXCELENTE
<b>10</b>	Costo del sistema	Pesos (\$)	23'000000	<=15'000000
<b>11</b>	Tiempo de instalación y mantenimiento	Minutos	5 – 20	< 15
<b>12</b>	Temperatura en funcionamiento	℃	10 – 60	<35
<b>13</b>	Adaptabilidad al ambiente industrial	Subj	BUENA	EXCELENTE
<b>14</b>	Tiempo de funcionamiento diario	Hrs.	16	24

## **7.5 GENERACIÓN DE CONCEPTOS**

### **7.5.1 Clarificación del problema**

#### **7.5.1.1 Descripción del producto**

- Dispositivo automático para picar toronjas (picadora).

#### **7.5.1.2 Necesidades**

- Procesamiento del material en forma segura.
- Liviano y de fácil manejo
- Sistema con señales de aviso ante fallas

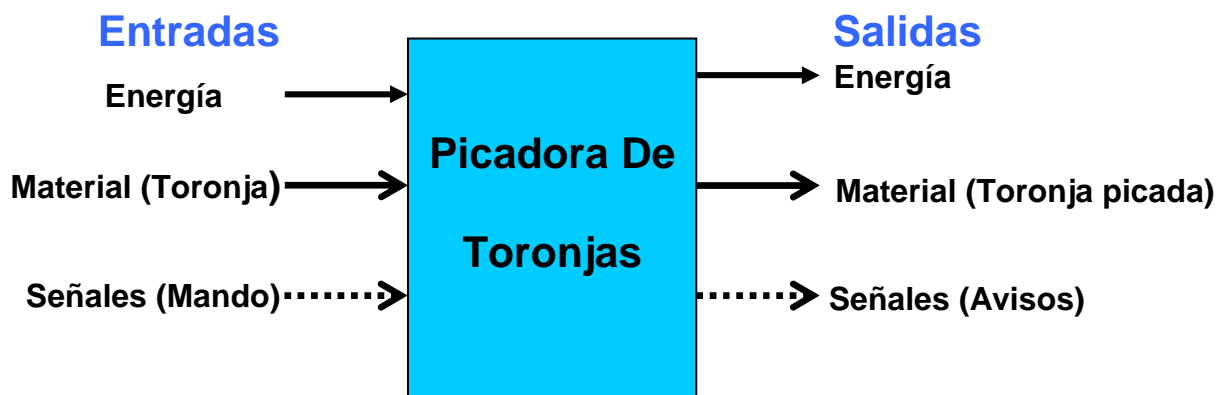
#### **7.5.1.3 Especificaciones técnicas**

- Peso del sistema menor a 100 Kg.
- Potencia del motor menor a 10 HP
- Visualización de la cantidad de material procesado al final del ciclo.
- Sistema con apagado automático ante ausencia de material.

Luego de establecer las necesidades propuestas por el cliente e identificarlas con una métrica definida para la obtención de las especificaciones técnicas preliminares de este producto, el paso a seguir es realizar una generación de conceptos, con lo cual se pretende definir una serie de posibles ideas para ser aplicadas al diseño del sistema y se logre dar solución a cada uno de las necesidades anteriormente planteadas.

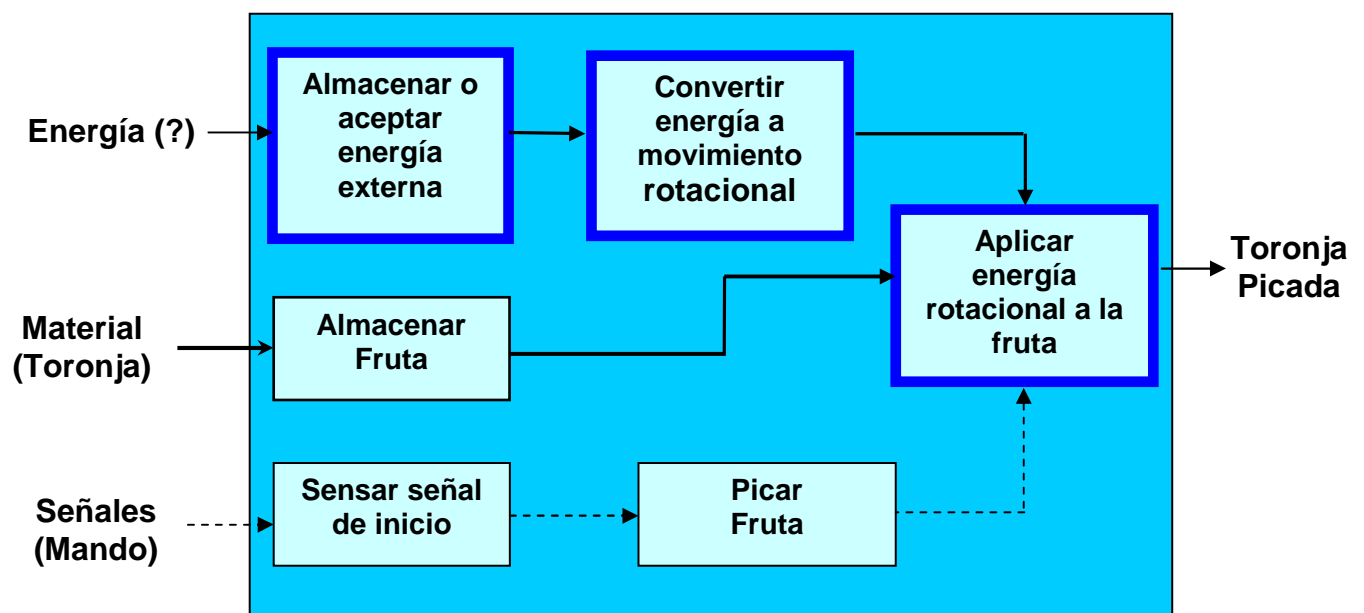
**7.5.1.4 Caja Negra.** Para realizar lo mencionado se representa el problema (proceso de picado) como una caja de la cual sólo se conoce sus entradas y salidas que ésta debe de entregar una vez haya culminado su tarea. Este diagrama facilita la comprensión del problema en toda su dimensión y nos conduce a la siguiente etapa que consiste en realizar una descomposición funcional del problema. En la **Figura 1** se muestra este diagrama.

**Figura 1.** Caja negra



**7.5.1.5 Descomposición Funcional.** En la **Figura 2**, se observa detalladamente la secuencia dentro de las etapas o pasos que se deben de dar dentro del sistema, para poder obtener el producto deseado (Toronja finamente picada), partiendo de un material de entrada (Toronja), una forma de energía y de una serie de señales de control. El proceso se inicia recolectando una forma de energía externa, la fruta entra al dispositivo donde se es almacenada, luego el sistema queda en espera de una señal de disparo (inicio), la cual reconoce un sistema de control para así dar la orden de comienzo al sistema encargado de hacer el proceso de picado al material hasta el punto de dejarlo completamente picado que es la forma en que finalmente se debe de entregar el producto.

**Figura 2.** Descomposición funcional y determinación de subfunciones críticas



Aparte que esta descomposición funcional ofrece una gran claridad de las acciones secuenciales que todo el sistema en general debe de realizar para generar el producto esperado, también permite determinar las subfunciones críticas que pueden existir en el proceso, las cuales son las que se deben de analizar más detalladamente en el momento de realizar cada etapa del proceso, por ser funciones de características complejas que exigen mayor análisis y esfuerzo para poderse realizar, por lo que son consideradas como tareas claves y decisivas en el sistema.

En este caso se encuentra que en el sistema existen tres subfunciones críticas las cuales son: **almacenar o aceptar energía externa, convertir energía eléctrica a rotacional y aplicar energía rotacional al paquete**; por tanto estas funciones son las que se analizarán de manera más intensiva en esta etapa conceptual.

**7.5.2 Búsqueda Externa.** Esta alternativa de búsqueda dentro del proceso de diseño fue muy enriquecedora para el equipo de diseño, ya que permitió encontrar soluciones existentes tanto para el problema general como para las subfunciones.

Con la búsqueda externa, se encontró bastante información con respecto a la variedad de máquinas industriales que existen y se utilizan actualmente para desempeñar tareas similares a la expuesta en este trabajo, como son las licuadoras y molinos en todas sus modalidades, donde cabe resaltar que la mayoría de estas máquinas son de naturaleza robusta, las cuales son utilizadas para ejercer labores de muchísimo esfuerzo al procesar materiales extremadamente frágiles como son las piedras y calizas, y dúctiles como los metales. También se encontraron máquinas de este mismo tipo para la manipulación de alimentos blandos y fibrosos, las cuales son las de interés en este proyecto. Las vías de búsqueda en esta opción fueron el acceso a Internet, libros, catálogos técnicos, opinión de docentes y personas expertas en el tema tanto de la universidad como de diferentes lugares, los cuales plantearon una serie de puntos y detalles a tener en cuenta en el momento de desarrollar y diseñar esta clase de dispositivos. También se tuvo la oportunidad de observar la manera como funciona una máquina de éstas, la cual se encuentra ubicada en la microempresa donde se está trabajando este proyecto, y que es la máquina con la que esta empresa actualmente labora; ahí se pudo examinar y medir todos los aspectos relevantes de estos dispositivos, además de los que el cliente determinó como importantes en las necesidades que se plantearon como son el peso, dimensiones, consumo de potencia, rendimiento, etc. También el análisis de esta máquina fue muy útil a la hora de realizar el benchmarking competitivo, que se mostró anteriormente (**Tablas 5 y 6**).

Los resultados obtenidos principalmente en esta búsqueda fue el entendimiento y comprensión de los principios mecánicos básicos que se usan para la reducción de tamaño y tamizado de sólidos en industrias alimentarias llamados “**procesos unitarios**”. A continuación se expone una explicación breve de dichos principios:

**7.5.2.1 Fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño.** En general, se puede distinguir tres tipos de fuerzas de las que en cualquier proceso de trituración o reducción de tamaño suele operar más de una. Los tipos de fuerzas que predominan en las trituradoras de uso frecuente en la industria alimentaria son las siguientes:

**Tabla 8.** Tipo de fuerzas utilizadas en la industria alimenticia

<b>Fuerza</b>	<b>Principio</b>	<b>Aparato</b>
Compresión	Compresión (cascanueces)	Rodillos trituradores
Impacto	Impacto (martillo)	Molino de martillos
Cizalla	Desprendimiento	Molino de disco

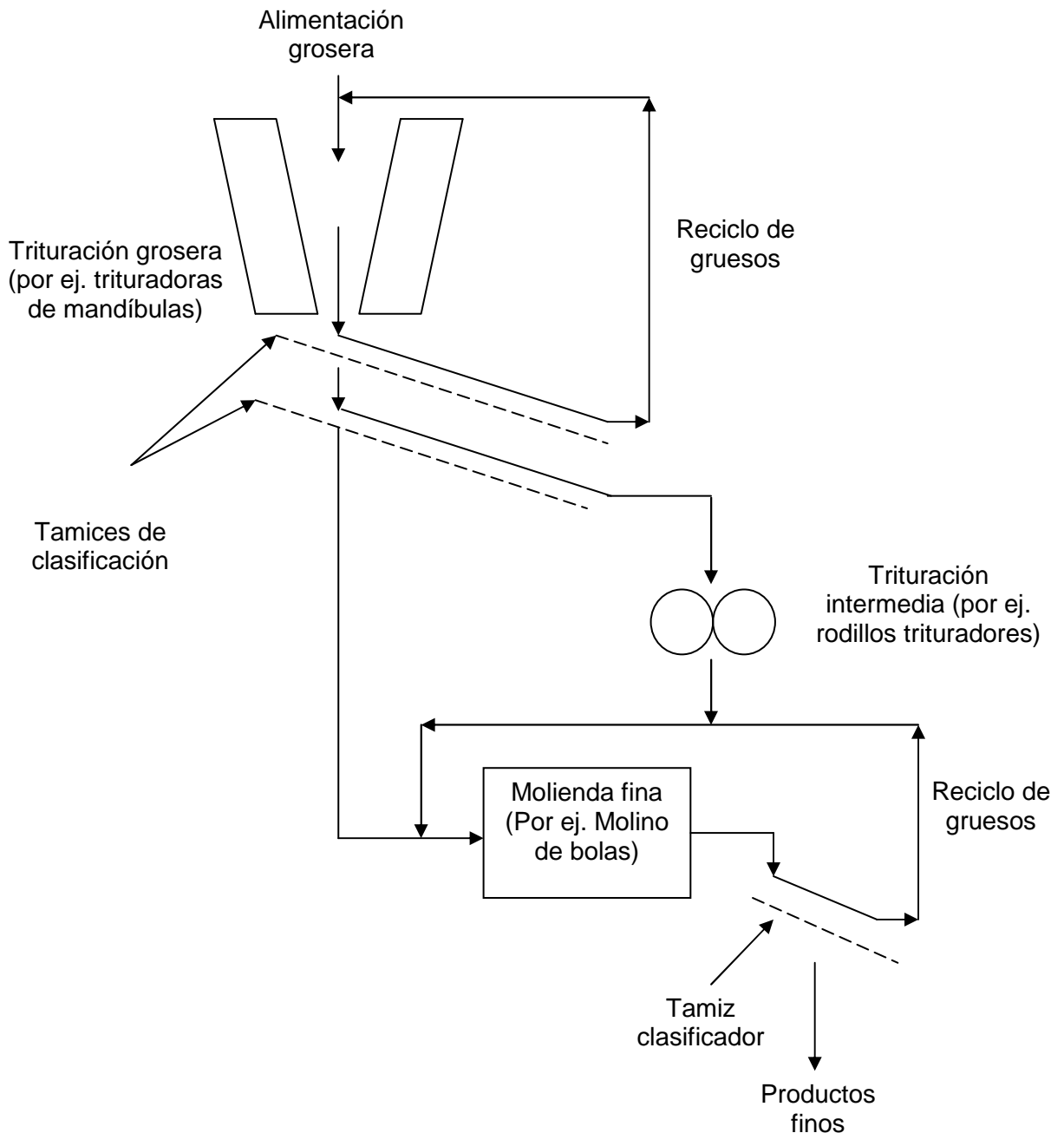
Las **fuerzas de compresión** se utilizan para la trituración grosera de productos duros. Las **fuerzas de impacto** se pueden considerar de uso general, empleándose en la molienda fina, media y gruesa de muy diversos productos alimenticios. Las **fuerzas de cizalla** se utilizan en aparatos para la trituración de productos blandos, no abrasivos, para obtener piezas de tamaños muy pequeños, es decir, en la molienda fina o extrafina.

El término **trituración** (crushing), se aplica generalmente al desmenuzamiento de materiales muy gruesos hasta tamaños del orden de 3 mm. Moliendas es, en cambio, un término empleado para referirse a la obtención de productos en polvo. La trituración se suele llevar a cabo aplicando fuerzas de compresión y la molienda mediante fuerza de cizalla.

**7.5.2.2 Número de etapas de reducción en un proceso dado.** En un proceso de reducción de tamaño, se obtienen partículas de tamaño muy variable y con frecuencia se necesita clasificarlas en grupos que cubren un determinado rango de dimensiones. La especificación de un producto suele requerir que no contenga partículas mayores de (o menores de, según el proceso) un cierto tamaño. En los estudios de reducción de tamaño suele hacerse referencia al de las partículas, en términos de apertura de malla.

La complejidad de una instalación de reducción de tamaño, es decir, el número de aparatos individuales y etapas de separación necesarios, varían con el producto a tratar y las categorías de tamaño deseadas. Para la reducción de piezas sólidas relativamente grandes a polvo fino, se requerirán varias etapas, cada una de las cuales logra una determinada reducción de tamaño. La **Figura 3** muestra el diagrama de bloques de una instalación típica, con tres etapas de reducción.

**Figura 3.** Diagrama típico de una operación de reducción de tamaño



### 7.5.2.3 Relación de reducción (R.R.)

La relación:

$$\frac{\text{Tamaño medio del material entrada}}{\text{Tamaño medio del producto}}$$

Se conoce como relación de reducción, y se utiliza para predecir la conducta más probable de un aparato. La trituradoras, utilizadas con materiales muy gruesos, tienen relaciones de reducción inferiores a 8:1, mientras que, en la molienda fina, se pueden lograr relaciones de 100:1. Depende, en gran manera, de la máquina y el producto de partida. Los valores promedio del tamaño de la carga y el producto resultante dependen del método de medida. Se usan diferentes diámetros promedio, según el método empleado para determinar la distribución en tamaños de partícula y la interpretación estadística de los resultados obtenidos. Por su simplicidad y su aplicabilidad a tamaños de partícula muy diversos, en la industria alimenticia se suele preferir el tamizado.

**7.5.2.4 Aparatos para la reducción de tamaño.** Para la trituración de los productos alimenticios se dispone de aparatos de diferentes tipos y tamaños. Los tipos mas grandes, como las trituradoras de mandíbulas y la giratorias, no se utilizan normalmente en la industria alimentaria. A continuación se listan los tipos de máquinas utilizadas en la industria alimentaria.

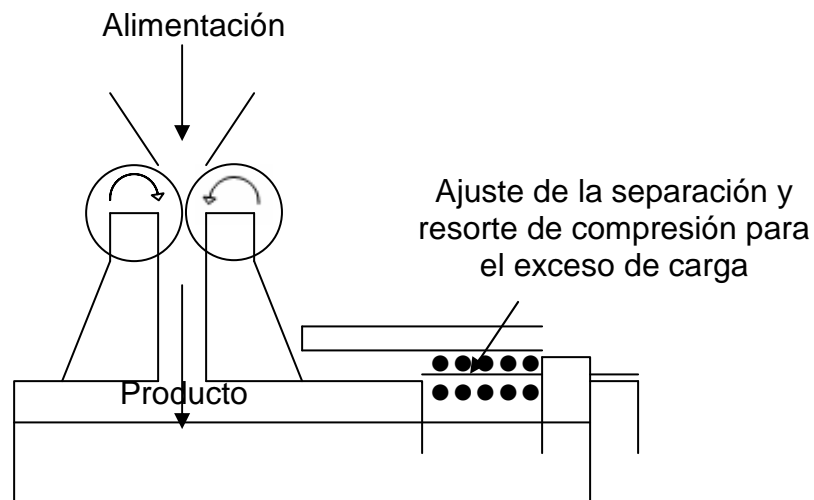
- **Trituradora de rodillos.** En estas máquinas, dos o más rodillos pesados de acero giran en sentido contrario (**Figura 4**). Las partículas de la carga quedan atrapadas y son arrastradas entre los rodillos; se ven así sometidas a una fuerza de compresión que las tritura. En algunos aparatos, los rodillos giran a diferente velocidad generando también esfuerzos de cizalla.

La producción de estas unidades esta regida por la longitud y el diámetro de los rodillos y por la velocidad de rotación. Con los diámetros mayores, se utilizan corrientemente velocidades de 50-300 rpm. Las relaciones de reducción de tamaño son pequeñas, en general, inferiores a 5.

El diámetro de los rodillos, su velocidad diferencial y el espacio que entre ellos queda, se pueden variar para adaptarlos al tamaño del material de partida y la velocidad de producción deseada. Aunque disponen de un resorte de compresión para el exceso de carga, a fin de proteger la superficie de los rodillos, hay que eliminar los cuerpos extraños duros antes de la trituración.



**Figura 4.** Rodillos trituradores

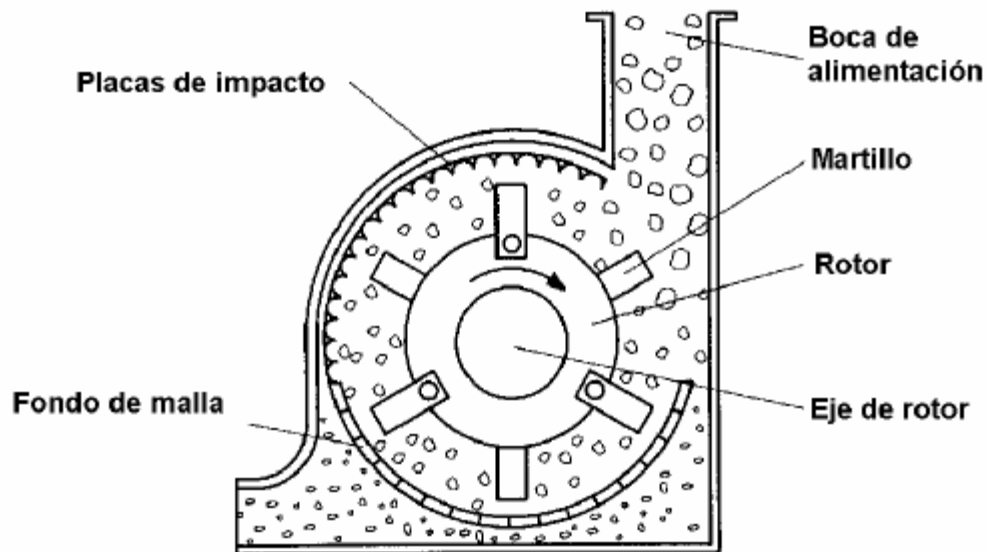


Para mayor comprensión del principio de operación de este tipo de molinos  
Por favor refiérase al **Apéndice C**.

- **Molino de martillos.** Este tipo de molino de impacto a percusión, es corriente en la industria alimentaria (**Figura 5**). Un eje rotatorio que gira a gran velocidad lleva un collar con varios martillos en su periferia. Al girar el eje, las cabezas de los martillos se mueven, siguiendo una trayectoria circular en el interior de la armadura, que contiene un plato de ruptura endurecido, de dimensiones casi idénticas a la trayectoria de los martillos. Los productos de partida o corriente de alimentación, pasan a la zona de acción donde los martillos los empujan hacia el plato de ruptura.

La reducción del tamaño se debe principalmente a las fuerzas de impacto, aunque en condiciones de alimentación obturantes, también pueden participar en la reducción de tamaño las fuerzas de fricción. Con frecuencia, los martillos se sustituyen por cortadoras o por barras, como en los molinos de barras. **Los molinos de martillos se pueden considerar de uso general**, ya que son capaces de triturar sólidos cristalinos duros, producto fibrosos, vegetales, moler especias, leche deshidratada, azúcares, etc. No se recomiendan para la molienda fina de materiales muy duros, por el excesivo desgaste que en este caso sufren.

**Figura 5.** Corte esquemático de un molino de martillos

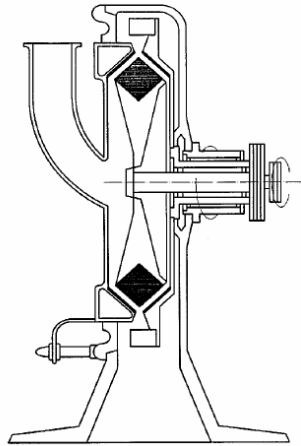


- **Molino de disco.** Los molinos que utilizan la fuerza de cizalla para la reducción de tamaño, juegan un papel primordial en la molienda fina. Como la molienda se usa en la industria alimentaria fundamentalmente para producir partículas de tamaño muy pequeño, esta clase de molinos es muy común. Este tipo de molinos se clasifican en dos tipos, los cuales son:
  - **Molino de disco único.** En este modelo, los materiales de partida o alimentación pasan a través del espacio que queda entre un disco estriado que gira a gran velocidad, y la armadura estacionaria del molino. La trituración de la carga se debe a la intensa acción de cizalla. La separación entre el disco y la armadura se puede variar, según el tamaño de las materias primas y las exigencias del producto acabado.
  - **Molino de doble disco.** En esta modificación, la armadura tiene dos discos que giran en dirección opuesta, generando un esfuerzo de cizalla mayor que en el que se puede conseguir con los molinos de disco único. En otra modificación de este principio básico, el molino de Foss, los discos llevan estrias que facilitan la desintegración. Este tipo de molinos de disco cizallantes se utiliza mucho en la industria alimentaria, sobre todo en la molienda del arroz y del maíz.

En el molino de clavijas, también popular en la industria alimentaria, los elementos que rotan llevan clavijas o proyecciones; en este caso, juegan también un papel significativo en la ruptura las fuerzas de impacto.

**Figura 6.** Tipos de molinos de disco

(a) Molino de disco sencillo



(b) Molino de doble disco

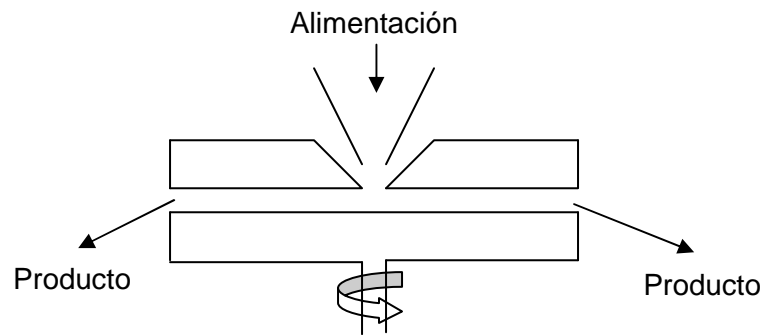


- **Molino de piedras.** Es el tipo más antiguo de molino que existe, y fue utilizado originalmente como molino harinero.

Sobre un eje, se montan dos piedras circulares; la superior, que corrientemente es fija, tiene una boca para la entrada de la carga (**Figura 7**), y la inferior gira haciendo que la carga pase por el espacio que queda entre las dos piedras. Los productos, una vez sometidos a la fuerza de cizalla desarrollada entre ambas piedras, salen por el borde de la piedra inferior. En algunos modelos, las dos piedras giran en sentido opuesto.

En las máquinas modernas, las piedras naturales o artificiales están siendo sustituidas por acero endurecido; este tipo de molino se usa todavía en la molienda húmeda de maíz. Otras variantes se utilizan mucho en la elaboración del chocolate; por ejemplo, los granos de cacao se trituran en molinos de tres piedras horizontales, aunque los procesos modernos utilizan discos dentados de acero endurecido en lugar de piedras.

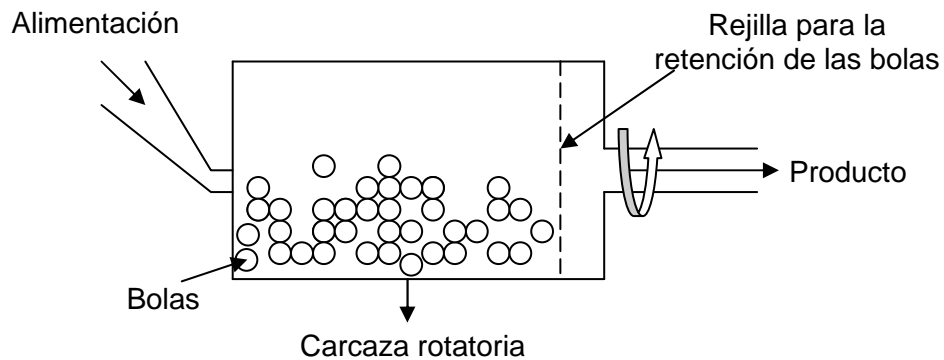
**Figura 7.** Molino de piedras



- **Molinos Gravitatorios.** Este tipo de molinos se emplean en numerosas industrias para obtener una molienda fina. Existen dos tipos básicos: el de bolas y el de barras.
- **Molinos de bolas.** En este tipo de molinos, operan simultáneamente las fuerzas de cizalla e impacto. Están constituidos por un cilindro giratorio horizontal, que se mueve a poca velocidad en cuyo interior se halla un cierto número de bolas de acero o piedras duras. A medida que el cilindro gira, las piedras se elevan por las paredes del cilindro y caen sobre los productos a triturar, que llenan el espacio libre entre las bolas. Las bolas también giran y cambian de posición unas con respecto a las otras, cizallando el producto a moler. Esta combinación de fuerzas de impacto y cizalla produce una reducción de tamaño muy eficaz. El tamaño de la bola suele ser de dos a 15cm. Las bolas pequeñas proporcionan más puntos de contacto, pero las grandes producen mayor impacto. Al igual que en todos los molinos, las superficies se desgastan, por lo que hay que vigilar la posible contaminación del producto. Cuando las velocidades de rotación son pequeñas, las bolas no se elevan mucho por las paredes del cilindro, girando unas sobre otras, de forma que predomina la fuerza de cizalla.

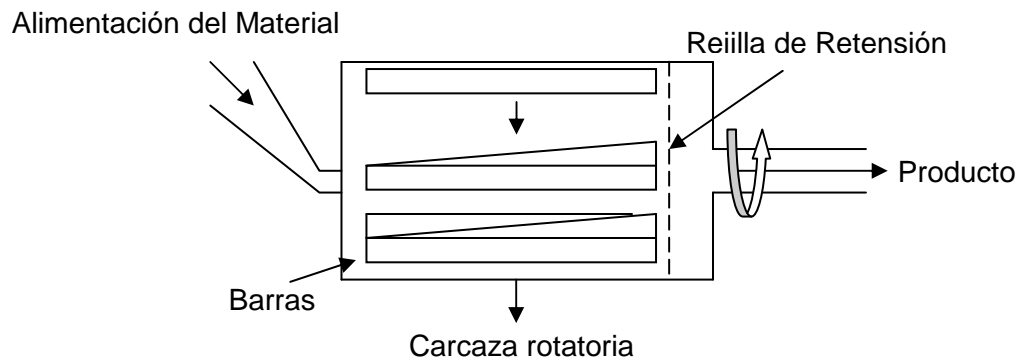
A velocidades superiores, se elevan más y crece la fuerza de impacto. Las fuerzas de cizalla e impacto juegan papeles similares en la reducción. A velocidades altas, las bolas no se separan de la pared, debido a la fuerza centrífuga; en estas condiciones, no hay molienda. Para mas detalle de este tema refiérase al **Apéndice D.**

**Figura 8.** Molino de bolas



- **Molinos de barras.** En ellos, las bolas se sustituyen por barras de acero. Operan las fuerzas de impacto y cizalla, pero el efecto de las de impacto es menos acusado. Se recomienda utilizar molinos de barras con sustancias untuosas, que se adhieran a las barras, a las que restan eficacia. Las barras tienen la longitud del molino y, como en el caso de las bolas, ocupan un 50% del volumen del molino. En la siguiente figura se muestra esta clase de molinos.

**Figura 9.** Molino de barras



**7.5.2.5 Desintegración de sustancias fibrosas: corte en rodajas, troceado en cubos, desmenuzamiento y transformación en pulpa.** Los principios de la reducción de tamaño que se acabaron de describir son válidos para la reducción, a formas granulares o pulverulentas, de productos frágiles, que contienen poco líquido o están secos. Muchos productos alimenticios pertenecen a esta categoría, entre ellos los azúcares, las especias, los pimientos, los frutos secos y los cereales. Muchos otros productos alimenticios cuyo tamaño tiene que reducirse, como la carne, las frutas frescas y las hortalizas, poseen una estructura fibrosa y contienen cantidades apreciables de líquido.

Como no son cristalinos, las fuerzas de compresión juegan sin embargo, un papel importante en el estrujamiento, otra operación básica que supone reducción de tamaño, y cuya finalidad es la extracción del líquido. Para la desintegración de productos fibrosos, se utilizan en general, fuerzas de impacto y cizalla, casi siempre aplicadas por medio de una arista cortante. La mayor parte de los aparatos utilizados se parecen a los empleados con las sustancias pulverulentas y secas; por ejemplo, los martillos de un molino de percusión se pueden sustituir por cuchillas que aplican la fuerza de impacto a lo largo de un filo cortante. Asimismo, los molinos de disco pueden llevar estrías o dientes de sierra en las caras del disco para producir desgarros.

En operaciones de reducción de tamaño mas especializadas, puede ser necesario obtener partículas de forma específica y tamaño uniforme, a fin de simplificar su manejo, facilitar los procesos de velocidad (como la deshidratación o el tratamiento térmico) o mejorar la apariencia del producto. Además, los sólidos fibrosos pueden requerir su conversión en pulpa semisólida y blanda, como ocurre por ejemplo en la elaboración de confituras. Estas operaciones de reducción de tamaño más específicas requieren naturalmente, aparatos de diseño especial. Una de las operaciones de corte más especializadas es el rebanado, o corte en rodajas.

- **Rebanado o corte en rodajas.** Las rodajas de frutas se consumen mucho como postre; ofrecen un aspecto atractivo y son de tamaño adecuado. Para su obtención se suele utilizar cuchillas rotatorias, las cuales están situadas de forma que corten los productos que se les acercan, generalmente arrastrados por una cinta vibratoria, en rodajas paralelas del espesor deseado. En otros sistemas, las frutas pasan a través de un tubo con filos cortantes estacionarios, situados radialmente a lo largo de toda su longitud. Este tipo de instalación obtiene secciones en forma de cuña de frutas firmes, como las manzanas.
- **Troceado en cubos.** El troceado en cubos o dados, es decir, el corte de los alimentos para formar cubos suele ir precedido por el corte en rodajas del espesor deseado. Las rodajas se colocan sobre una cinta transportadora que contiene una serie de estrías que mantienen las rebanadas en la posición correcta; la cinta las arrastra hasta un punto en el que la cuchilla giratoria las corta en tiras, las cuales pasan luego por otra zona de corte en ángulo recto con la anterior. El resultado son los cubos requeridos.

- **Desmenuzamiento.** Durante el desmenuzamiento, los productos alimenticios se fragmentan en trozos pequeños cuyo tamaño medio depende del tipo de aparato usado y del tiempo de residencia en la zona de acción. Es una operación frecuentemente usada como etapa preliminar de la deshidratación, ya que el aumento de la superficie acelera los procesos de velocidad; para ello, se utiliza con frecuencia los molinos de martillo. El eje rotatorio lleva cierto número de discos, cada uno de los cuales tiene una serie de aristas de impacto en su periferia. Los martillos también pueden estar pivotados, de forma que golpeen.

Para desmenuzar alimentos fibrosos, son útiles cilindros concéntricos gemelos con sus superficies provistas de aristas cortantes a lo largo de toda su longitud, que giran en sentidos opuestos. La carga ingresa en el cilindro interior y pasa a la zona de acción entre ambos.

El desmenuzamiento se produce por la intensa acción de cizalla y corte a que los materiales se ven sometidos; el producto desmenuzado pasa a través del cilindro exterior hasta la tolva.

- **Formación de pulpa.** Es otra operación de desintegración muy utilizada en la industrialización de frutas de baja calidad, separadas durante la operación de clasificación. La fruta que es comestible pero inaceptable para el procesamiento como pieza entera, se puede utilizar para la elaboración de confituras. Muchas frutas y hortalizas se someten a transformación de pulpa y tamizado. Para la obtención de pulpa, se suele utilizar una máquina constituida por un tamiz cilíndrico que contiene en su interior cepillos que giran a gran velocidad.

El producto a transformar en pulpa ingresa al cilindro y se ve forzado, por la acción de los cepillos, a atravesar el tamiz. Los rabos, las pieles y las semillas se deslizan sobre la superficie del tamiz y se expulsan como desechos.

Alternativamente, para el desmenuzamiento de la fruta, se puede usar una máquina provista de paletas que giran a gran velocidad. Las características del tamiz dependen de las exigencias del producto a obtener. Si se eligen tamices de apertura adecuada, se logra pulpas sólido-liquidas finamente dispersas. Antes de su transformación en pulpa, algunas frutas se calientan para ablandarlas, ya que su ablandamiento mejora el rendimiento de la pulpa.

- **Energía necesaria para una operación de corte.** Son pocos los trabajos publicados relativos a la energía necesaria para una operación de corte. En la disipación inútil de energía durante la ruptura juegan un papel importante tanto la fricción como la deformación. Estas pérdidas son menores si los filos o aristas se hallan en buenas condiciones.

- **Conservación de los filos.** Si las cuchillas se mantienen bien afiladas, no solo se reduce la disipación inútil de energía, sino también el número de piezas de producto defectuosas (por ej., muy mallugadas y desgarradas), que casi siempre aparecen si las superficies de corte están embotadas o melladas. Para prolongar la vida de los filos, las cuchillas deben de ser de acero endurecido o de materiales semejantes, y se debe de eliminar durante la limpieza de la materia prima todas las sustancias extrañas (piedras, virutas metálicas, etc.), que pueden dañarlas. Las cuchillas se montan en ejes rotatorios que giran a gran velocidad, en parejas, que deben estar bien equilibradas por lo que es preciso prestar gran atención a su desmontaje, afilado y recolocación.

Para profundizar más en la desintegración de sustancias fibrosas por favor refiérase al **Apéndice E**.

**7.5.2.6 Tamizado.** El tamizado es una operación básica en la que una mezcla de partículas sólidas, de diferentes tamaños, se separa en dos o más fracciones, pasándola por un tamiz. Cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. Un tamiz es una superficie que contiene cierto número de aperturas de igual tamaño. La superficie puede ser plana (horizontal o inclinada) o cilíndrica. Los tamices planos, de pequeña capacidad, se denominan cedazos o cribas. En general, los tamices se usan mucho para separar mezclas de productos granulares o pulverulentos, en intervalos de tamaños.

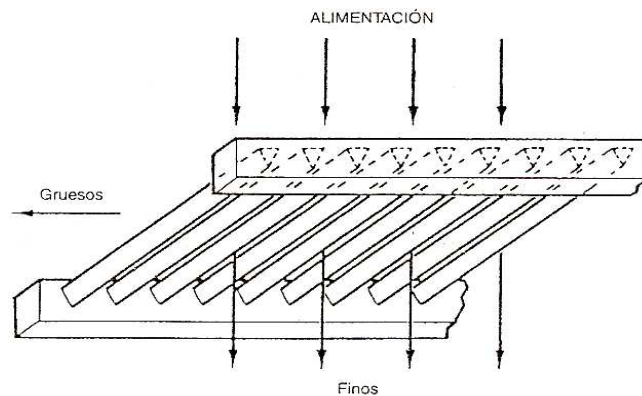
Hay cierto solapamiento entre el tamizado y otras operaciones básicas, ya que los tamices y rejillas se utilizan en la filtración, para separar productos sólidos groseros o fibrosos de una fase líquida y, en la industria alimenticia, para separar por tamaños, y clasificar hortalizas o frutas. Además, para separar industrialmente los productos alimenticios en dos o más categorías de tamaño de partícula con fines industriales específicos, el tamizado o cribado se usa también con fines analíticos, para determinar el tamaño de partícula y la distribución por tamaños de los productos pulverulentos.

- **Tamices Industriales.** Los tamices industriales se construyen con barras metálicas, láminas y cilindros perforados o con telas y tejidos con hilo de distintos materiales. Los tamices para separar alimentos suelen ser de **acero inoxidable**, metal Monel o tela de nailon.



- **Parrillas o Tamices de Barras.** Se utilizan para tamizar partículas de tamaño superior a 2,5cm. Consisten en un grupo de barras paralelas espaciadas según se necesite. Las barras tienen corrientemente forma de cuña, para evitar la obturación o embotamiento (**Figura 10**). Se pueden colocar horizontales o inclinadas, con un ángulo de 60°. Existen también parrillas vibratorias, en las que la corriente de alimentación se desplaza sobre la superficie del tamiz bajo la acción de una serie de sacudidas.

**Figura 10.** Tamices de barra de sección triangular



- **Tamices Vibratorios.** El tamiz vibratorio más sencillo consiste en un marco que soporta una malla de alambre o una placa perforada. Pueden ser sacudidos mecánica o electromagnéticamente; el movimiento resultante desplaza la carga a tamizar sobre la superficie del tamiz. En general, están inclinados respecto de la horizontal, y se utilizan mucho para la clasificación de frutas y hortalizas. Estos sistemas de tamizado pueden estar constituidos por series de tamices montados unos sobre otros, con lo que se logra separar una carga en corrientes de varios intervalos de tamaño.
- **Tamices de Tambor.** Son tamices cilíndricos, giratorios, montados casi horizontalmente. La superficie de tamizado puede estar constituida también por una malla de alambre o una placa perforada. A veces, tienen secciones transversales hexagonales, lográndose con ello una agitación que facilita la separación de los finos. Para productos en polvo, se utilizan tamices de tela o mallas de alambre y para las frutas y las hortalizas perforaciones circulares.

La capacidad de un tamiz de tambor aumenta a medida que lo hace la velocidad de rotación, hasta alcanzar una velocidad crítica. A velocidades mayores que la crítica, el producto no cae en cascada sobre la superficie, sino que es arrastrado por la fuerza centrífuga, lo que dificulta mucho la separación.

La velocidad crítica viene dada por la ecuación

$$N = \frac{42,3}{(D)^{1/2}}$$

En la que, N es el número de revoluciones del cilindro por minuto y D su diámetro, en metros.

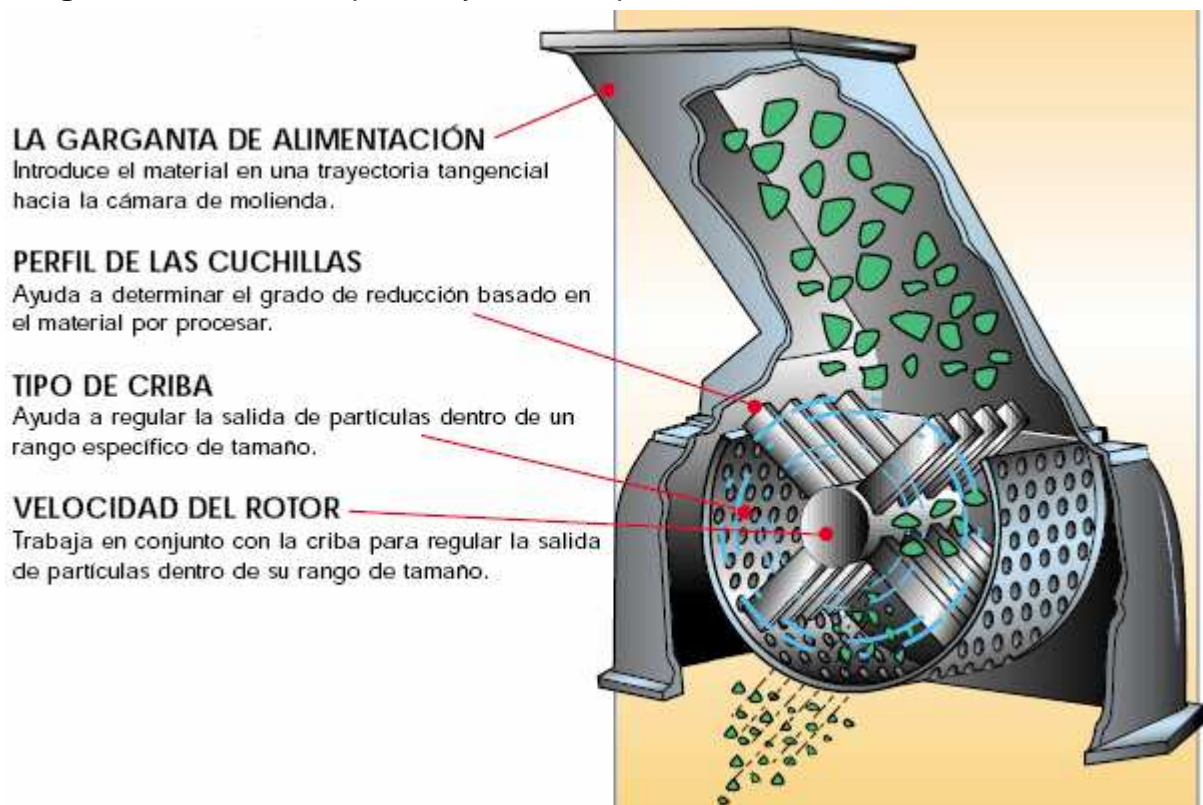
#### **7.5.2.7 Factores que afectan la eficiencia de la operación de tamizado.**

Idealmente, el objetivo del tamizado es una separación completa de los productos deseados y los desechos. El grado de separación alcanzado puede verse influido por numerosos factores.

- **Velocidad de alimentación.** Si la velocidad de alimentación es demasiado grande, el tiempo de residencia sobre la superficie de tamizado resulta insuficiente. El tamiz se sobrecarga y parte de los materiales que debieran ser finos acompañan a los gruesos.  
El ángulo de inclinación del tamiz también influye sobre el tiempo de residencia. Un ángulo demasiado grande (muy pendiente) dará como resultado un tiempo de residencia insuficiente, mientras que un ángulo muy pequeño puede reducir el flujo gravitatorio a través del tamiz.
- **Tamaño de partícula.** Aunque la partícula sea suficientemente pequeña, sólo pasará a través del tamiz si se alinea adecuadamente. Las partículas grandes tienden a impedir el paso de las pequeñas y, si la proporción de gruesos es grande, puede necesitarse una separación preliminar.
- **Humedad.** Si el producto de partida está húmedo, pueden aglomerarse las partículas pequeñas y las grandes; las pequeñas serán arrastradas con las grandes.
- **Tamices deteriorados o rotos.** Las partículas grandes se colocarán por las zonas dañadas, con lo que disminuirá la eficacia de la separación. Los tamices defectuosos se deben reparar de inmediato. Los tamices finos son muy frágiles y hay que tratarlos con gran cuidado.

- **Embotamiento de los tamices.** Cuando el tamaño de las partículas es similar al de apertura de la malla, los tamices se suelen obturar. Las partículas cuyo tamaño les permitiría atravesarlo se ven arrastradas con los gruesos. Los tamices así cegados deben limpiarse de inmediato, si se quiere mantener su eficacia.
- **Carga electrostática.** Al tamizar productos secos en polvo, se pueden cargar las partículas; las pequeñas se agregarán y se comportarán, no como finos, sino como gruesos. La aglomeración se evita conectando el tamiz a tierra, lo que impedirá también que se alcance un alto voltaje de electricidad estática en ambientes potencialmente explosivos.

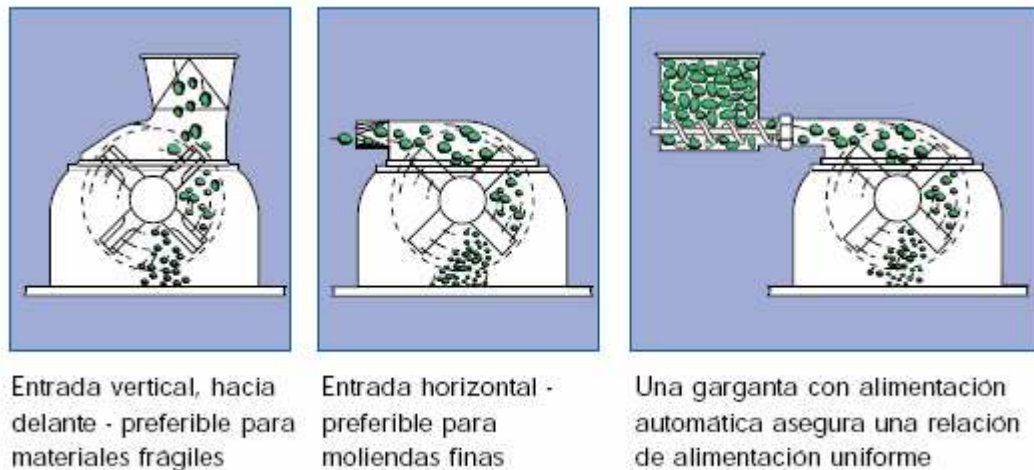
**Figura 11.** Variables que influyen en los procesos de molienda



**7.5.2.8 La garganta de alimentación.** Para que una tarea de molienda sea realizada de manera efectiva y controlable, se requiere que el producto a procesar sea introducido en la cámara de molienda (zona de acción) en una trayectoria tangencial relativa a las cuchillas de la máquina. Es por eso que la garganta de alimentación del sistema debe de proporcionar y garantizar el control exacto sobre el ángulo de alimentación, asegurando resultados consistentes y previsibles.

A continuación se muestra un amplio rango de gargantas tanto estándar como especiales, en las cuales se introduce el material de alimentación de acuerdo a como se acabó de describir. Si el proceso requiere de transferencia de calor o de introducción de un gas inerte, se puede suministrar una garganta especial apropiada.

**Figura 12.** Introducción adecuada del material a procesar en la cámara de molienda



**7.5.2.9 Efecto de las cuchillas sobre el producto obtenido.** Uno de los factores que intervienen e influyen en obtención del producto procesado al tamaño que se desea, es la forma y el tipo de cuchillas que se estén utilizando para tal fin, donde independiente del material con que estas son hechas y su tamaño se destacan básicamente dos tipos los cuales son:

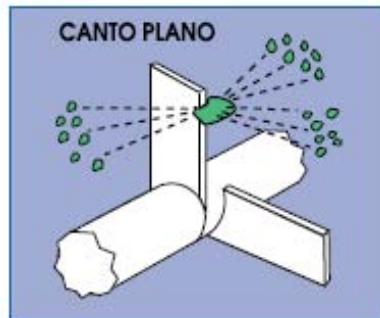
- **Cuchillas de canto filoso:** Son aquellas en las que toda su área de contacto con el material a desgarrar o triturar posee un gran filo para tal fin, permitiendo que la trituración sea realizada de manera suave, siendo por ello utilizadas solamente para el corte y desmenuzamiento de materiales de naturaleza blanda.

**Figura 13.** Cuchillas de canto filoso cortando el material



- **Cuchillas de canto plano:** En este tipo de cuchillas, la región de contacto de ellas con el material a procesar es completamente plano, ocasionando que la trituración sea efectuada de manera tosca y agresiva, siendo por eso entonces utilizadas solamente para el desgarramiento de materiales dúctiles.

**Figura 14.** Cuchilla de canto plano cortando el material

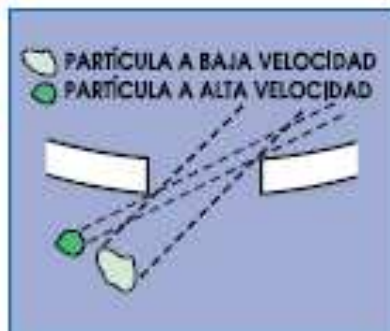


**7.5.2.10 Tipo de tamiz y velocidad del rotor.** Otro factor que influye en los resultados que se obtienen en un proceso de molienda es concerniente a la velocidad con que gire el rotor encargado de mover las cuchillas del molino, junto al tamaño de los agujeros que tenga el tamiz, donde al combinarse de una manera determinada la velocidad de rotor y el tipo de tamiz, las partículas o material de un cierto rango de tamaño pueden pasar a través del tamiz del molino y salir de la máquina. Esto de la siguiente manera:

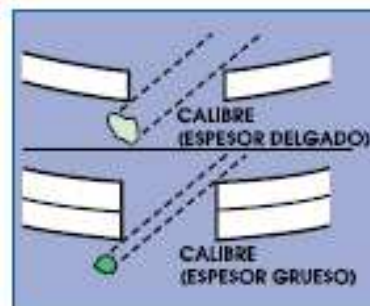
- Velocidades del rotor mayores deprimen el ángulo de ataque de una partícula relativamente a la superficie del tamiz, reduciendo el tamaño aparente de la perforación de la misma (**Figura 15**). Un agujero circular, por ejemplo, aparecerá elíptico, permitiendo entonces que solamente partículas más pequeñas le atraviesen.

- A velocidades menores, el ángulo de ataque incrementa, permitiendo partículas mayores atravesarlo. A medida que el calibre (espesor) de la criba se incrementa, el tamaño de la apertura debe también incrementarse para mantener el tamaño de partícula deseado (**Figura 16**). Una velocidad del rotor variable y la intercambiabilidad de tamices hacen que un mismo molino fácilmente produzca una gran variedad de resultados.

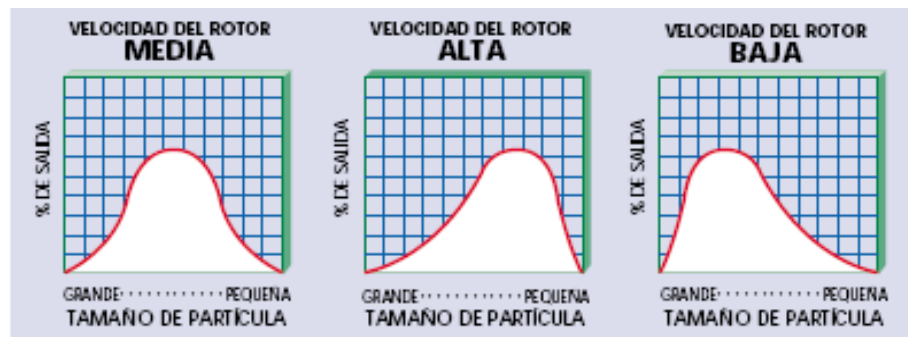
**Figura 15.** Efecto de la velocidad del rotor con el tamaño



**Figura 16.** Efecto del calibre del tamiz con el tamaño de producto obtenido



**Figura 17.** Gráficas de velocidad del rotor controlando el tamaño de las partículas de salida



En la **Figura 17**, se puede apreciar cómo se da el tamaño del producto de acuerdo a la velocidad que tenga el rotor en ese momento.

- Para el caso de una velocidad baja en el rotor, el tamaño obtenido del producto dado en porcentajes se da de la siguiente manera: un 50% del material resultante será de tamaño medio, un 25 % será de tamaño grande y otro 25 % saldrá de tamaño pequeño.
- Para una velocidad alta en el rotor, el tamaño del producto obtenido será: Un 75% del producto saldrá con un tamaño pequeño, mientras que el 25% restante será de tamaño grande.
- Ahora, para el caso que el rotor esté girando a una velocidad baja el tamaño que se obtendrá en el producto final será de: un 75% del producto será de tamaño grande mientras que el 25 % restante saldrá de un tamaño pequeño.

**7.5.3 Búsqueda Interna.** Para la búsqueda interna, se partió del problema que existe en la actualidad con la manera en que se realiza el proceso de reducción de tamaño de la fruta, debido a que existe una licuadora que se utiliza para tal fin. El problema principal radica en que esta licuadora es incapaz de licuar de manera deseada la toronja en el tiempo que se considera prudente, debido a que el tamaño de la toronja es relativamente grande para ser completamente procesado en este periodo de tiempo, causando que el sistema tenga desperdicios grandes tanto de energía como de tiempo (ineficiencia del proceso), al exigir esta máquina un tiempo mucho mayor para procesar todo el material.

Es por eso que se ha pensado en integrarle a este proceso de triturado un dispositivo que pique de manera previa la toronja en trozos, los cuales pasen después a ser triturados por la licuadora. De esta manera se estaría disminuyendo el tiempo que se requiere para procesar una cierta cantidad de material.

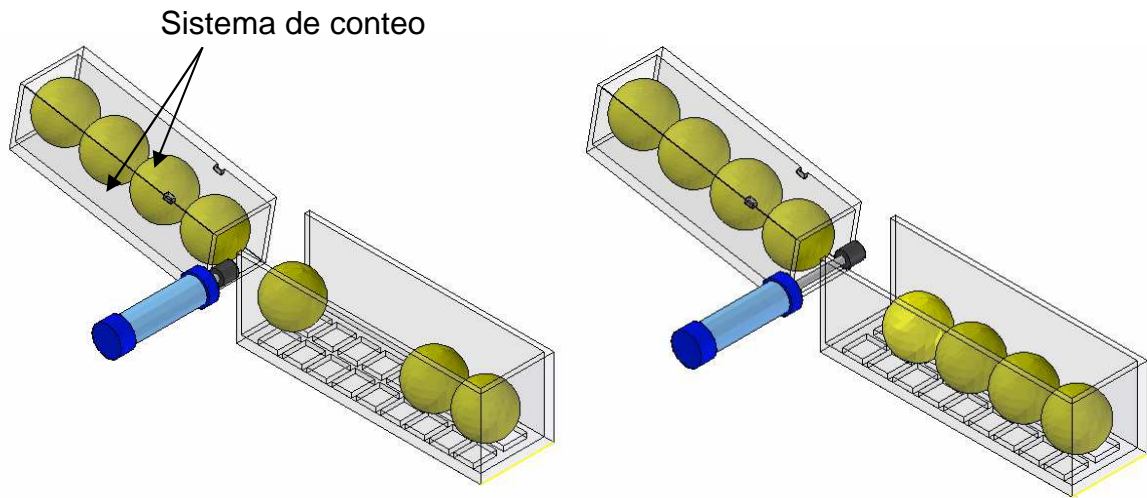
Para realizar todo este proceso previo de picado, primero se debe de asegurar la fruta separando por lotes el material a procesar, el cual se puede considerar como la primera etapa de este proceso, para después efectuar la segunda etapa que sería la tarea de corte sobre cada lote por medio de un mecanismo especializado para ello. Por lo tanto, para la realización de todo este proceso se analizarán de manera independiente estas dos etapas las cuales son el aislamiento del material por lotes, y el mecanismo de corte.



**7.5.3.1 Aislamiento del material por lotes.** En esta parte, un análisis riguroso permitió generar tres posibles soluciones las cuales se muestran a continuación.

- **Lote controlado por actuador**

**Figura 18.** Lote controlado por actuador

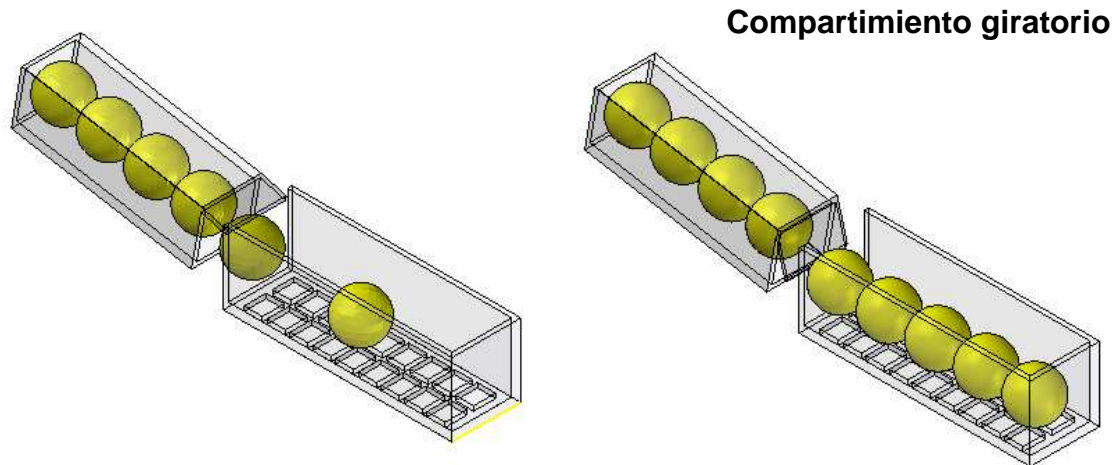


Este concepto consiste en controlar el paso y/o obstrucción de la fruta que va saliendo de la parte final de la garganta de alimentación (tolva), por medio del conteo de las toronjas que van pasando por la parte final de la tolva; una vez el conteo de las toronjas llega al límite deseado, se activa un actuador, el cual se expande, para así obstruir la parte final de la garganta, impidiendo de esta manera el paso de más toronjas. Con todo esto, este sistema queda a la espera que el mecanismo efectúe la tarea de corte sobre las toronjas que salieron. Una vez que se hayan cortado y evacuado estas toronjas, el sistema de control envía una señal al actuador para que éste se recoja permitiendo así que pasen más frutas para realizar de nuevo el conteo, y así se repita el proceso nuevamente.



- **Lote controlado por compartimiento giratorio**

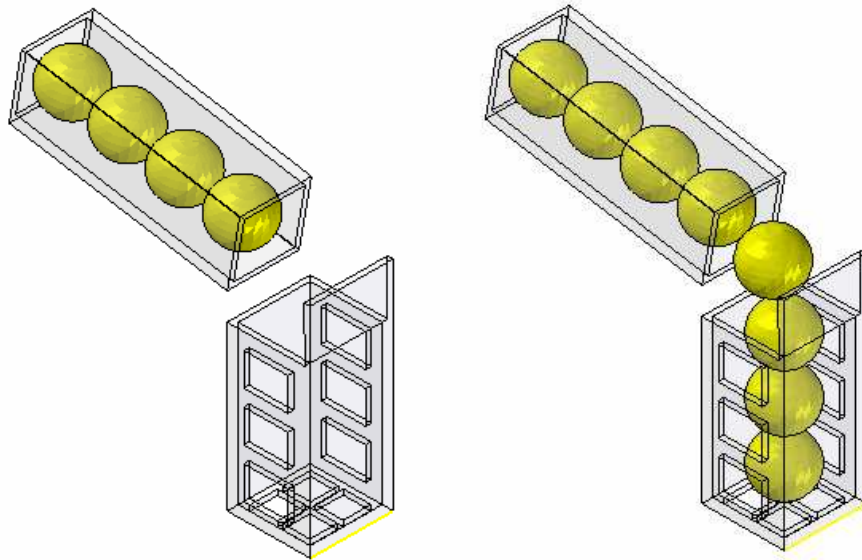
**Figura 19.** Lote controlado por compartimiento giratorio



Este concepto se fundamenta en controlar el paso o no de la fruta que va circulando en la parte final de la tolva, por medio de una puerta giratoria que deja pasar la fruta hasta que estas toronjas ocupen completamente el área de la zona de corte. En ese momento, las toronjas evacuadas se auto-organizan en hilera, las cuales ahora van a ejercer una fuerza que impide que la puerta giratoria se abra completamente, evitando de esta manera que más toronjas puedan salir hasta que el lote de toronjas que salieron anteriormente sean picadas; cuando esto ocurre, el sistema de nuevo permite que las toronjas puedan salir al no existir ya frutas al lado opuesto de la puerta que ejerzan una fuerza contraria que obstruyan el paso de las frutas, y así sucesivamente se repite el ciclo.

- **Aislamiento mediante el llenado de un contenedor**

**Figura 20.** Lote controlado por contenedor



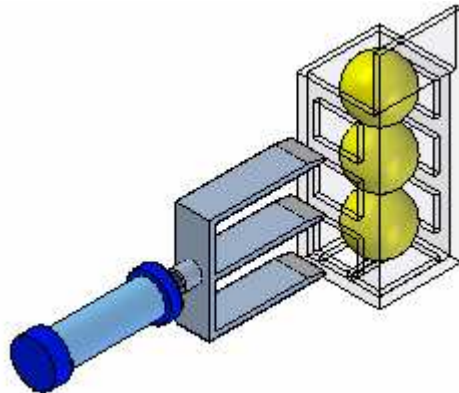
El principio básico de este concepto es el de un contenedor conectado en la parte final de la garganta de alimentación como se aprecia en la figura anterior; este contenedor recolecta las toronjas que conforman el paquete o lote a aislar.

Este sistema de aislamiento empieza llenando el contenedor de toronjas, y una vez haya sido llenado en su totalidad, la toronja que quedó guardada en la parte superior de este contenedor va a impedir que más de estas toronjas puedan salir de la parte final de la tolva, lográndose así aislar todas las toronjas que entran a la garganta de alimentación, de acuerdo al número de unidades que permita el contenedor almacenar, donde una vez habido un lote almacenado, la acción de corte hecha por un mecanismo se efectúa de manera horizontal sobre este contenedor, cortando el material atrapado en trozos los cuales salen por la parte inferior de este dispositivo de almacenamiento, donde a su vez este queda vacío permitiendo así que más toronjas vayan llenándolo de nuevo.

**7.5.3.2 Mecanismo de corte.** En esta segunda etapa, se generaron dos principios básicos para efectuar el corte sobre el material, donde de cada uno de estos principios surgió otra idea similar para obtener finalmente un total de 4 alternativas de solución; estas alternativas son:

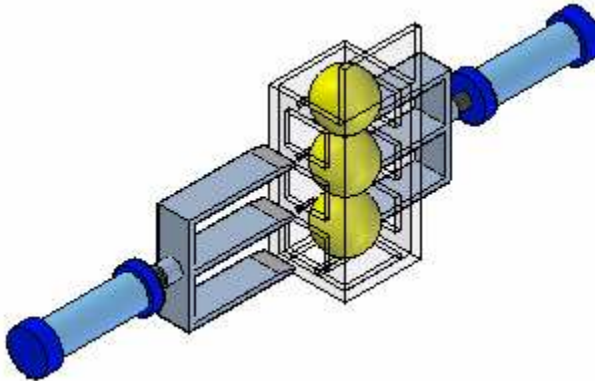
- Arreglo de cuchillas controladas por 1 pistón
  - Arreglo de cuchillas controladas por 2 pistones
  - Empuje vertical de plataforma
  - Arreglo de cuchillas de movimiento vertical
- 
- **Arreglo de cuchillas controladas por 1 pistón.** Como se puede apreciar en la **Figura 21**, se fundamenta en el control de movimiento que efectúa un actuador (pistón) que está conectado en su émbolo con un arreglo de tres cuchillas, las cuales cortan el material en forma horizontal una vez el pistón este activado.

**Figura 21.** Arreglo De Cuchillas Controladas Por Pistón



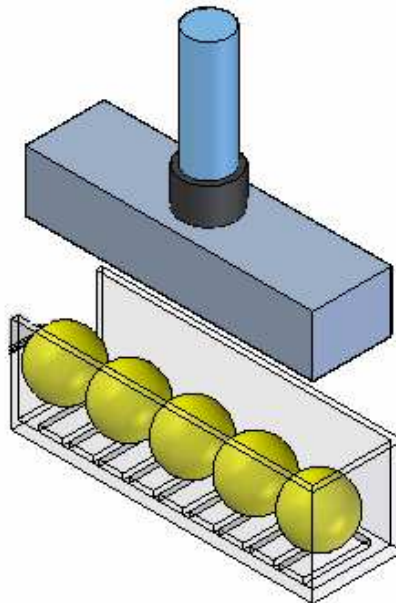
- **Arreglo de cuchillas controladas por 2 pistones.** Esta idea surge del principio anterior, con la diferencia en que para esta alternativa se requiere del uso de dos pistones, como se puede apreciar en la figura siguiente:

**Figura 22.** Arreglo de cuchillas controladas por 2 pistones



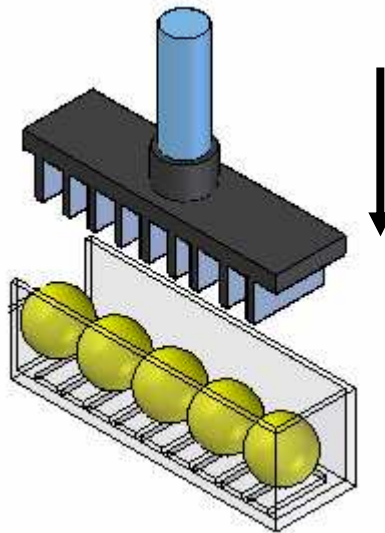
- **Empuje vertical de plataforma.** Para esta otra alternativa, se utiliza una especie de plataforma de la cual se controla su movimiento vertical para que efectúe sobre la fruta una fuerza, la cual haga que la fruta se corte en la rejilla filosa del contenedor.

**Figura 23.** Empuje vertical de plataforma



- **Arreglo de cuchillas de movimiento vertical.** Esta última alternativa se fundamenta del principio anterior, con la diferencia en que para este caso, la plataforma ya no va a ser la que va a realizar una fuerza directa sobre la fruta para cortarla, sino que será un arreglo de cuchillas las cuales están fijadas sobre la cara inferior de esta plataforma, de tal manera que cuando esta plataforma se mueva para abajo, las cuchillas entren en contacto con la fruta y por ende las corte, para que después caigan por los orificios del contenedor. Esto se puede apreciar en la siguiente figura.

**Figura 24.** Arreglo de cuchillas de movimiento vertical



Adicionalmente, en esta etapa de búsqueda interna se busca satisfacer la necesidad con respecto a la autonomía de la máquina, es decir, lograr que la máquina sea AUTOMÁTICA.

Para esto, se generó el concepto que se analizará a continuación:

**7.5.3.3 Automaticidad del sistema.** Visualizar la cantidad de fruta procesada, le brinda a la empresa y al proceso una mayor seguridad en el control de la materia prima, y también mejora su análisis estadístico; esto es un gran valor añadido que la máquina adquiere.

Aparentemente, el dispositivo que realiza este conteo tiene específicamente esa sola función, pero si se analiza detalladamente, dicho dispositivo es la esencia de lograr que esta máquina sea verdaderamente automática. Al colocar un simple contador, se pueden obtener las siguientes ventajas:

- Cuando el contador no detecte el paso de material, no es necesario que la máquina continúe moliendo, pues lógicamente no hay material para moler; entonces se podría dar la orden para que se apague automáticamente la máquina, evitando de esta manera el gasto del motor y el consumo innecesario de energía.
- En caso contrario, si se detecta una presencia de material, pero ésta no varía, es decir, si no hay un “Flujo de material”, es posible que haya una obstrucción en el canal o en alguna otra parte, generando así una señal de error y el paro de la máquina para su inmediata revisión y reparación.

Como se puede apreciar, el sistema de conteo brinda una gran importancia a la máquina como tal; por lo tanto, se debe de garantizar que este sistema sea completamente confiable para lograr de esta manera, el correcto funcionamiento de la máquina.

**7.5.4 Exploración Sistematizada.** En esta etapa del proceso, lo que se hace es examinar de manera cuidadosa y detallada todos los conceptos que surgieron dentro de la búsqueda externa e interna, con el fin de organizar y sintetizar cada uno de estos conceptos, los cuales son alternativas de solución de las diferentes subfunciones que integran la caja negra, sobre todo de aquellas que se consideraron como críticas en esta caja. Para llevar a cabo esta organización de alternativas de solución, se optó por utilizar el árbol de clasificación de conceptos el cual es una clase de cuadro conceptual que muestra el nivel de relación o enlace que se presenta entre un concepto general y sus diferentes ramificaciones (opciones de solución) de una manera clara y evidente, con el fin de descartar aquellos conceptos que no sean tan factibles y promisorios para poder llevar a cabo, y así poder obtener las soluciones más prometedoras y viables que se puedan desarrollar.

Los conceptos generales que se toman como punto de partida en la realización de este cuadro son las subfunciones críticas que se determinaron en la descomposición funcional, las cuales son las siguientes:

- Almacenar o aceptar energía externa
- Convertir energía a movimiento rotacional
- Aplicar energía rotacional a la fruta

De estas subfunciones críticas se obtienen tres árboles de clasificación de los cuales se desglosan las siguientes opciones de solución, que se convierten en las ramificaciones de cada árbol. Estos conceptos son:

Conceptos generados para la subfunción “Almacenar o aceptar energía externa”

**Energía Eléctrica**  
**Energía Mecánica**  
**Energía Neumática**  
**Energía Hidráulica**  
**Energía Solar**  
**Energía Eólica**

Conceptos generados para la subfunción “Convertir energía a moviendo rotacional”

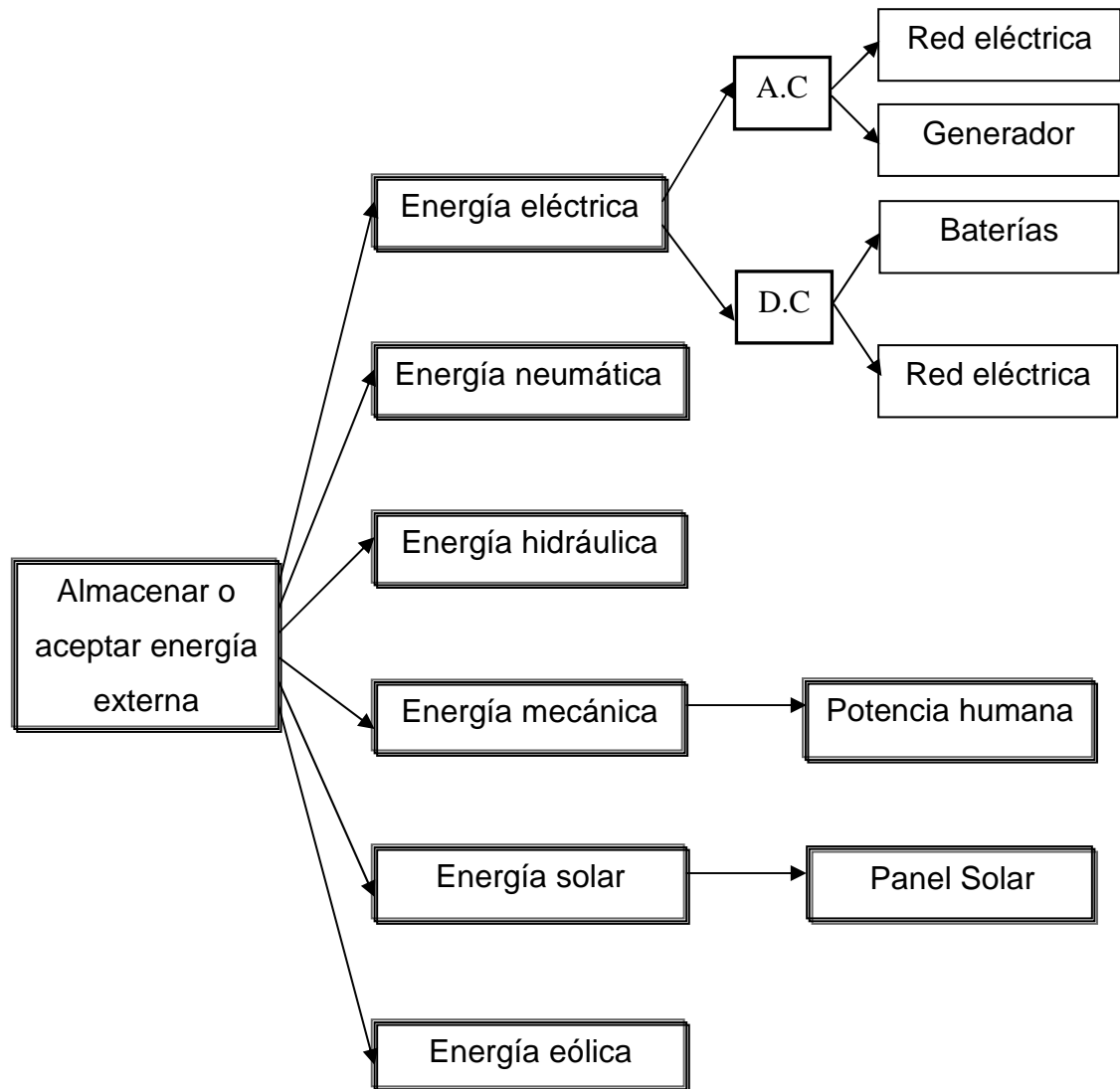
**Motor Eléctrico**  
**Motor Neumático**  
**Motor Hidráulico**  
**Motor A Gasolina**

Conceptos generados para la subfunción “Aplicar energía rotacional a la fruta”

**Fuerza de compresión**  
**Fuerza de cizalla**  
**Fuerza de impacto**

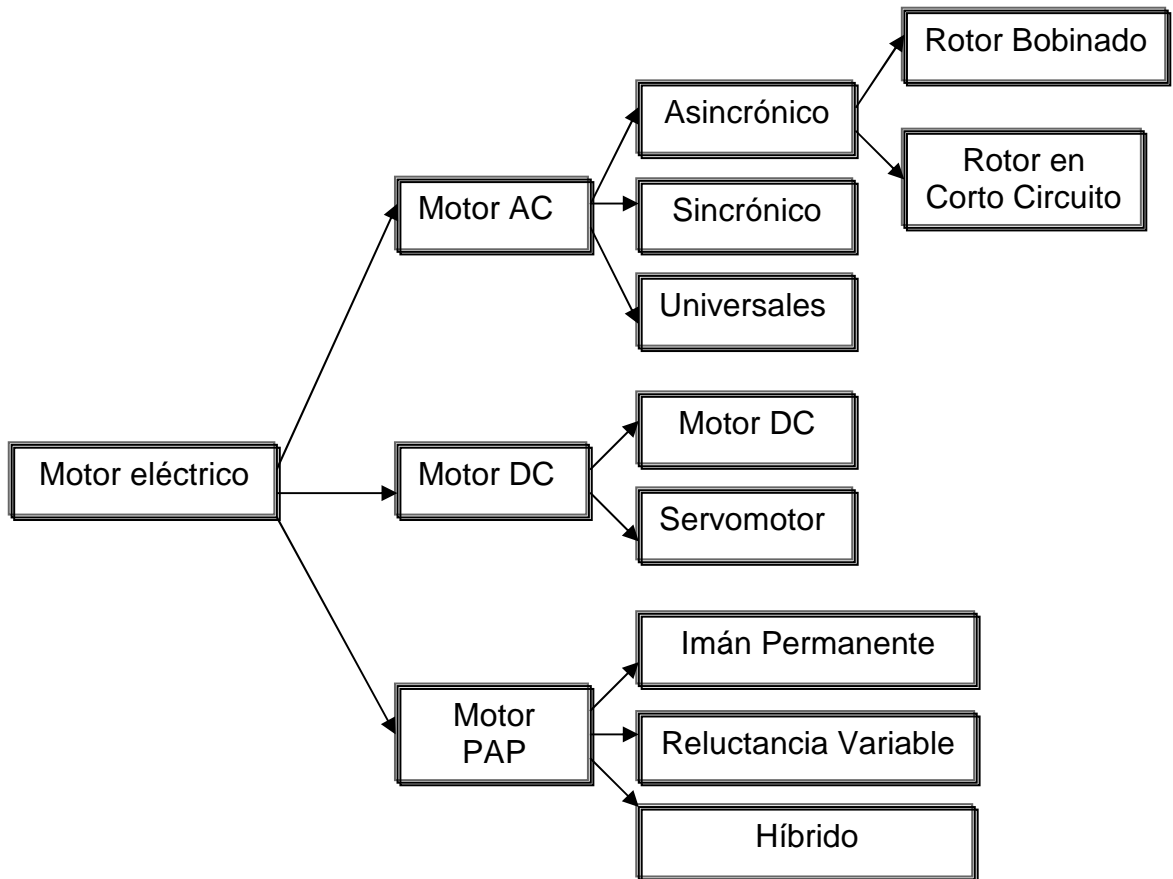
#### 7.5.4.1 Árbol de clasificación de conceptos

**Figura 25.** Árbol de clasificación para almacenar o aceptar energía externa

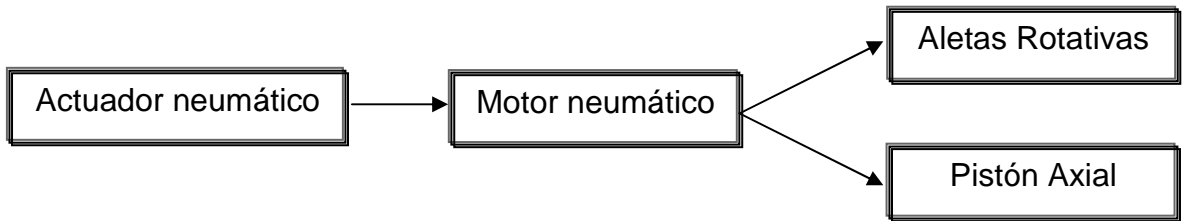




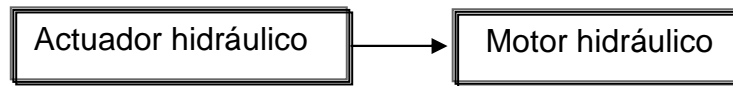
**Figura 26.** Árbol de clasificación para convertir energía a movimiento rotacional



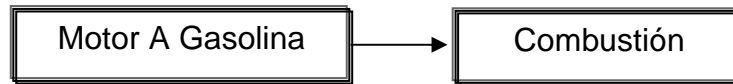
**Figura 27.** Árbol de clasificación para actuador neumático



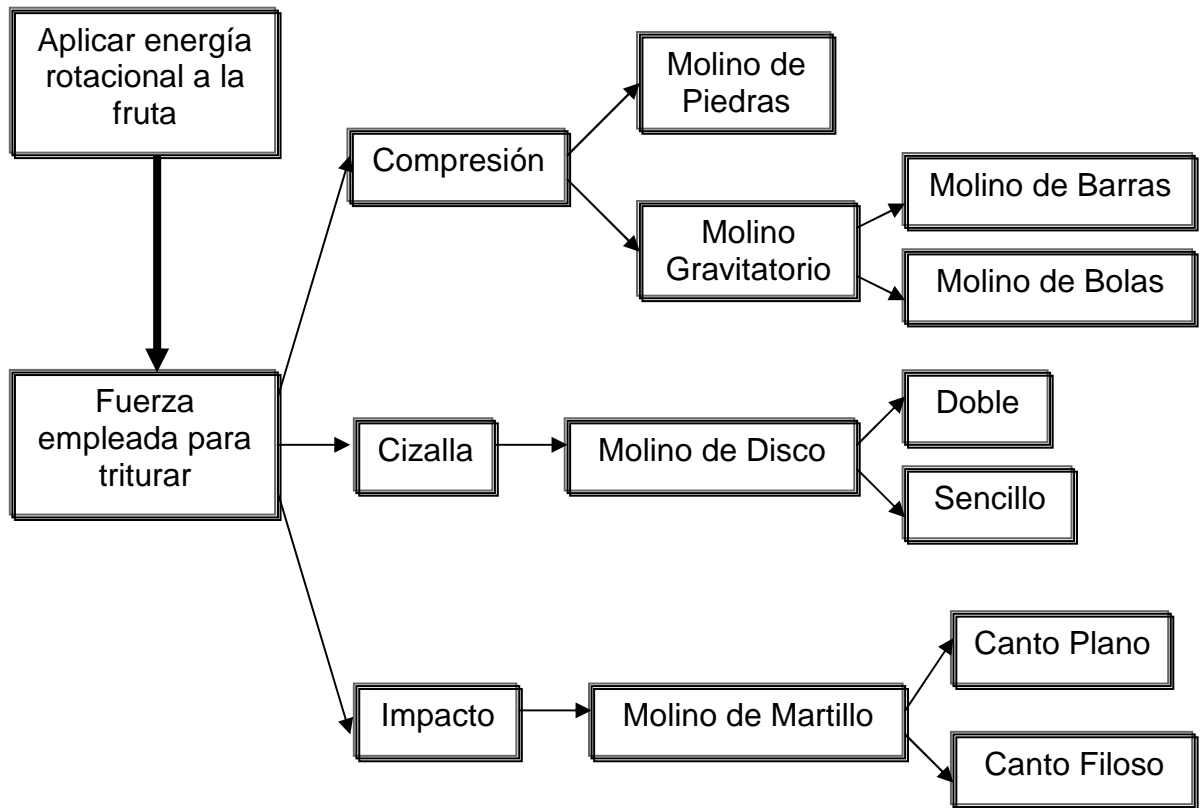
**Figura 28.** Árbol de clasificación para actuador hidráulico



**Figura 29.** Árbol de clasificación para motor a gasolina

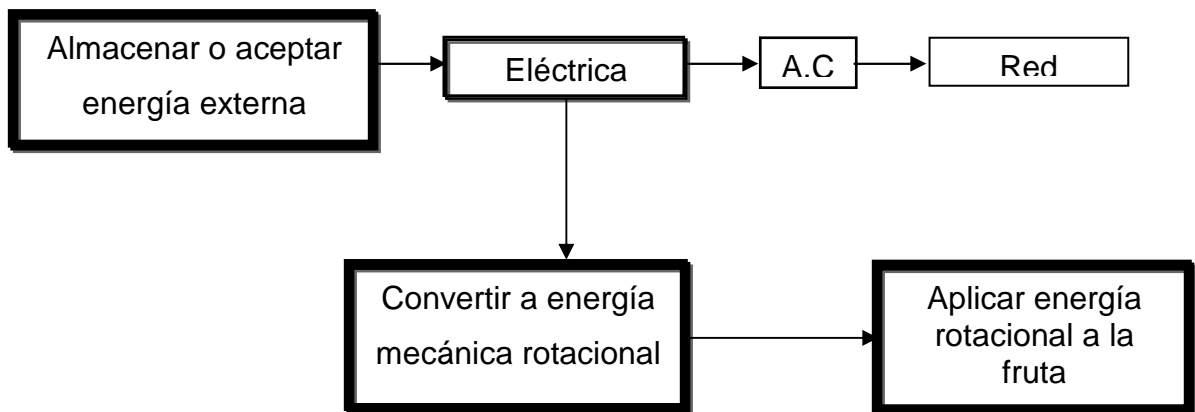


**Figura 30.** Árbol de clasificación para aplicar energía rotacional a la fruta



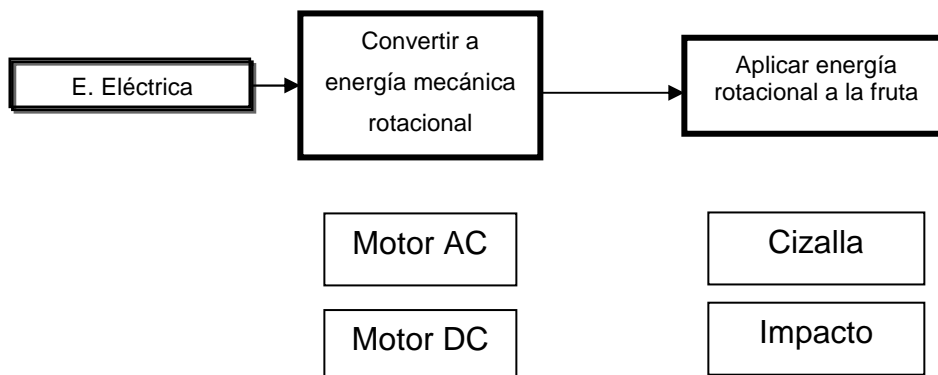
**7.5.4.2 Refinamiento de la descomposición funcional.** Luego de haberse obtenido en todos los árboles de clasificación un conjunto de soluciones más reducido con respecto a las iniciales, estas alternativas resultantes ahora se analizan detalladamente con el fin de seleccionar la solución más óptima y conveniente de cada árbol, donde de este análisis descrito se obtuvo el siguiente refinamiento o esquema definitivo de solución.

**Figura 31.** Refinamiento de la descomposición funcional



**7.5.4.3 Tabla de combinación de conceptos.** Con la obtención de este esquema, se genera para cada una de sus etapas una serie de alternativas que se puedan usar para suplir cada una de estas funciones, donde para realizar lo anterior, se recurre a unir estas opciones de solución a fin de generar la mayor cantidad de soluciones a partir de una sencilla combinación de dichas alternativas. En la siguiente figura se muestra la combinación obtenida.

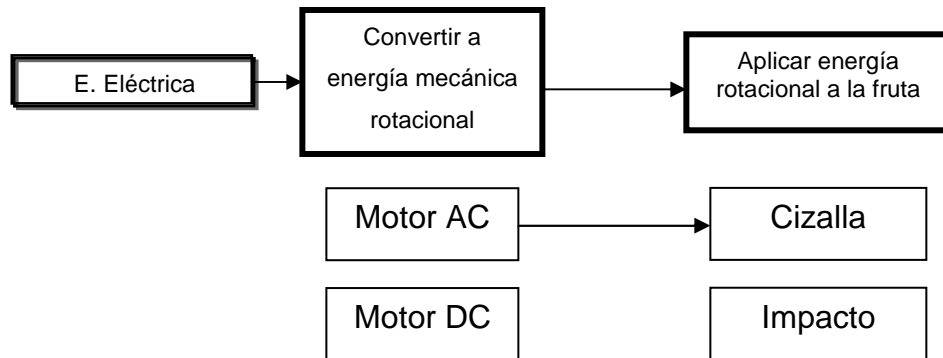
**Tabla 9.** Tabla de Combinación de conceptos



El número de soluciones que se obtiene son 4 combinaciones (2 x 2). Los conceptos A, B, C, y D de las **Tablas 10 a 13** corresponden a cada una de las soluciones posibles.

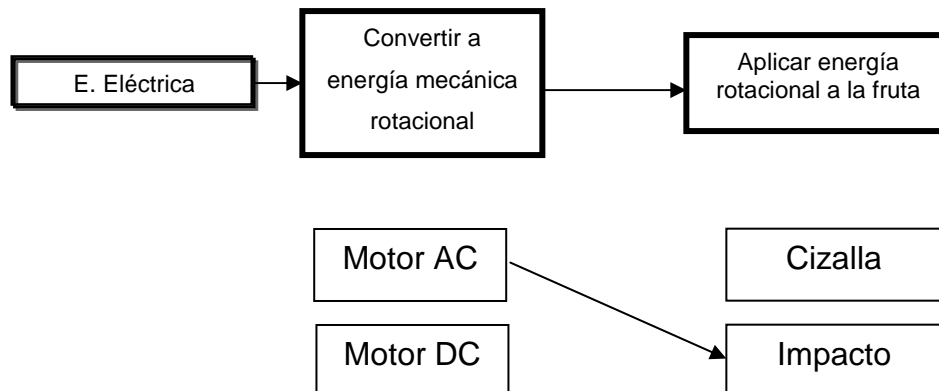
### Concepto A.

**Tabla 10.** Tabla de combinación Concepto A



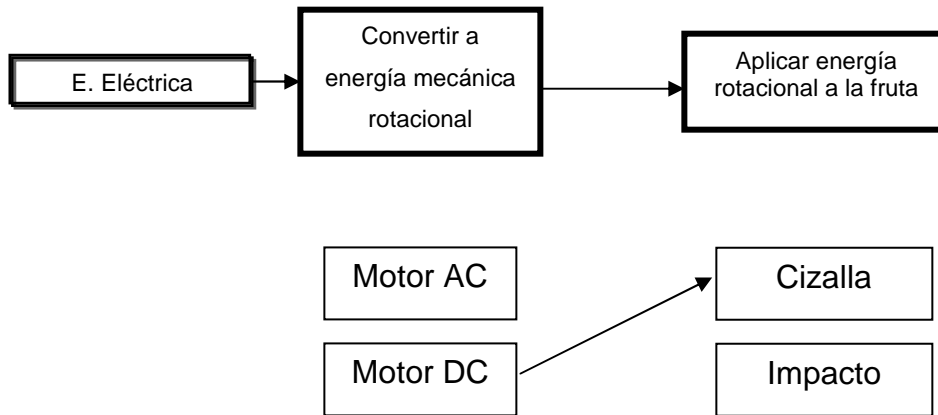
### Concepto B.

**Tabla 11.** Tabla de combinación Concepto B



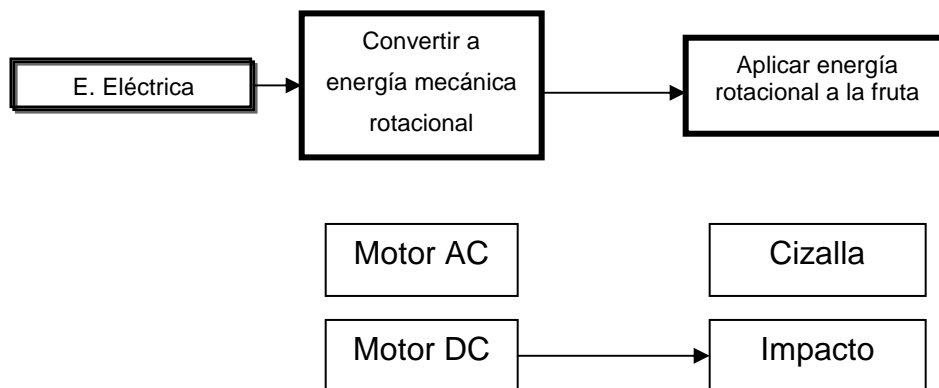
### Concepto C.

**Tabla 12.** Tabla de combinación Concepto C



### Concepto D.

**Tabla 13.** Tabla de combinación Concepto D



## 7.6 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Luego de haberse generado en la etapa anterior una serie de conceptos que logran dar solución a las necesidades del problema de diseño planteado, es preciso ahora evaluar de manera detallada y minuciosa cada una de estas posibles soluciones, tomándose como criterio de evaluación las características técnicas, y el nivel de eficiencia y de viabilidad que presenta cada uno de estos, con el fin de lograr desarrollar el mejor de estos conceptos. Para la realización de esta actividad de selección, se ha escogido como concepto de referencia un molino industrial de la marca **FitzMill S-DAS06**, el cual será tomado como criterio de comparación para la evaluación de los conceptos que se generaron anteriormente junto a unos criterios de selección, los cuales son las necesidades más importantes planteadas por el cliente. Los criterios de selección escogidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 14.** Criterios de selección a tener en cuenta en la matriz de tamizaje

	<b>Necesidades Identificadas</b>
<b>01</b>	El sistema debe ser rápido
<b>02</b>	El sistema debe de ser transportable
<b>03</b>	El consumo de energía del sistema debe de ser óptimo
<b>04</b>	La vibración del sistema debe ser mínima
<b>05</b>	El sistema debe ser lo más silencioso posible
<b>06</b>	El sistema debe ser de fácil ajuste e instalación al mantenimiento
<b>07</b>	El sistema debe soportar largas jornadas de trabajo
<b>08</b>	El sistema debe de ser confiable

<b>Tamizaje</b>	
+	Mejor que
0	Igual a
-	Peor que

<b>Evaluación</b>	
1	Mucho peor que...
2	Peor que...
3	Igual a...
4	Mejor que...
5	Mucho mejor que...

### 7.6.1 Matriz de tamizaje de conceptos

**Tabla 15.** Matriz de tamizaje de conceptos

Criterio de Selección	Variantes de Conceptos				
	A	B	C	D	FitzMill S-DAS06
Rapidez del sistema	-	-	-	-	0
Peso	-	+	+	+	0
Consumo de energía	+	+	+	+	0
Vibración	+	-	0	-	0
Generación de ruido	+	0	0	0	0
Facilidad de ajuste y mantenimiento	0	0	-	-	0
Intensidad de trabajo	0	0	-	-	0
Confiabilidad	-	0	-	-	0
	Positivos	3	2	2	2
	Iguales	2	4	2	1
	Negativos	3	2	4	5
	Total	0	0	-2	-3
	Orden	1	2	3	4
	¿Continuar?	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>

En la tabla anterior, se puede percibir los diferentes valores que se le asigna a cada uno de los conceptos generados de acuerdo a cómo éstos suplen las necesidades más relevantes en el desarrollo de este proyecto, para finalmente obtener un total de estos valores asignados el cual permite seleccionar de manera inicial cuáles de estos conceptos son los más apropiados para continuar en el proceso de desarrollo del producto. Los resultados obtenidos en esta tabla entregó los **conceptos A y B** como los conceptos más apropiados a desarrollar, donde ahora para definir el concepto más conveniente de acuerdo a estos resultados, se recurre a la matriz de evaluación la cual se muestra a continuación.



### 7.6.2 Matriz de evaluación de conceptos

**Tabla 16.** Matriz de evaluación de conceptos

		Variantes de Conceptos			
		A		B	
Criterio de Selección	% Pond.	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
Rapidez del sistema	10	3	0,3	4	0,3
Peso	5	2	0,15	4	0,15
Consumo de energía	15	3	0,3	3	0,6
Vibración	5	3	0,1	2	0,2
Generación de ruido	10	3	0,3	3	0,3
Facilidad de ajuste y mantenimiento	20	3	0,6	4	0,8
Intensidad de trabajo	10	3	0,3	3	0,3
Confiabilidad	25	2	0,5	3	0,75
<b>Total</b>		7		11,25	
<b>Orden</b>		2		1	
<b>¿Continuar?</b>		No		<b>Desarrollar</b>	

Finalmente, después de haber sometido los conceptos **A** y **B** (conceptos que resultaron de la matriz de tamizaje de conceptos) a criterios de evaluación ponderados, los cuales permitieron calificar de manera más apropiada estos dos conceptos junto a un concepto de referencia, obtenemos que el concepto que permite la satisfacción de las necesidades planteadas es el **concepto B**, el cual está compuesto por un motor de corriente alterna y un sistema que opera bajo el principio o fuerza de impacto, el cual para ser más específicos sería un **molino de martillos de cantos filosos**.

**7.6.3 Especificaciones finales del producto.** Después de haberse seleccionado el concepto a desarrollar junto a unas especificaciones preliminares que se determinaron anteriormente (**Tabla 7**) se procede a plantear las especificaciones finales del diseño de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 17.** Especificaciones finales del producto

<b>Nº</b>	<b>Medida</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>1</b>	Velocidad de procesamiento	unid/min	1
<b>2</b>	Tamaño de la fruta a procesar	Cm	<20
<b>3</b>	Peso total del sistema	Kg	<160
<b>4</b>	Potencia del sistema	Hp	5
<b>5</b>	Vibración del dispositivo	Hz	<10
<b>6</b>	Intensidad de ruido del sistema	dB	<90
<b>7</b>	Apagado automático del sistema	Bin	SI
<b>8</b>	Visualización de cantidad de material procesado	Bin	SI
<b>9</b>	Estética del dispositivo	Subj	BUENA
<b>10</b>	Tiempo de instalación y mantenimiento	Minutos	10
<b>11</b>	Temperatura en funcionamiento	°C	<35
<b>12</b>	Adaptabilidad al ambiente industrial	Subj	BUENA
<b>13</b>	Tiempo de funcionamiento diario	Hrs.	16
<b>14</b>	Capacidad de almacenamiento	Unid	50
<b>15</b>	Dimensiones (alto, ancho, prof)	cm	145x110x72

Como se puede apreciar en la **Tabla 17**, el nivel de producción de la máquina es de una toronja por minuto aproximadamente. La tolva de alimentación principal es capaz de almacenar 50 unidades de toronja, y de acuerdo a estos datos, se puede sacar un valor estimativo de la capacidad de producción de la máquina en el día, de la siguiente manera:

En una hora se alcanzan a procesar un total de 50 toronjas (1 unidad/min + 10 minutos que se requieren para el lavado de la máquina.)

$$50 \text{ Toronjas} \times 8 \text{ Horas} = \boxed{400 \text{ toronjas por turno}}$$

Una toronja pesa aproximadamente 4,41 Kgf, lo que es equivalente procesar:

$$400 \text{ Toronjas} \times 4,41 \text{ N} = 1764 \text{ Kgf} \quad \boxed{1.7 \text{ Ton.}}$$

Comparando este dato con la capacidad de producción que actualmente procesa la empresa con la licuadora, la cual es de 1 Ton/día, Se puede deducir entonces que con la máquina que se diseñó en este trabajo, la capacidad de producción de la empresa **se incrementaría en más de un 70% aproximadamente**.

Los productos competidores escogidos para este ejercicio se muestran en la siguiente figura:

**Figura 32.** Productos competidores



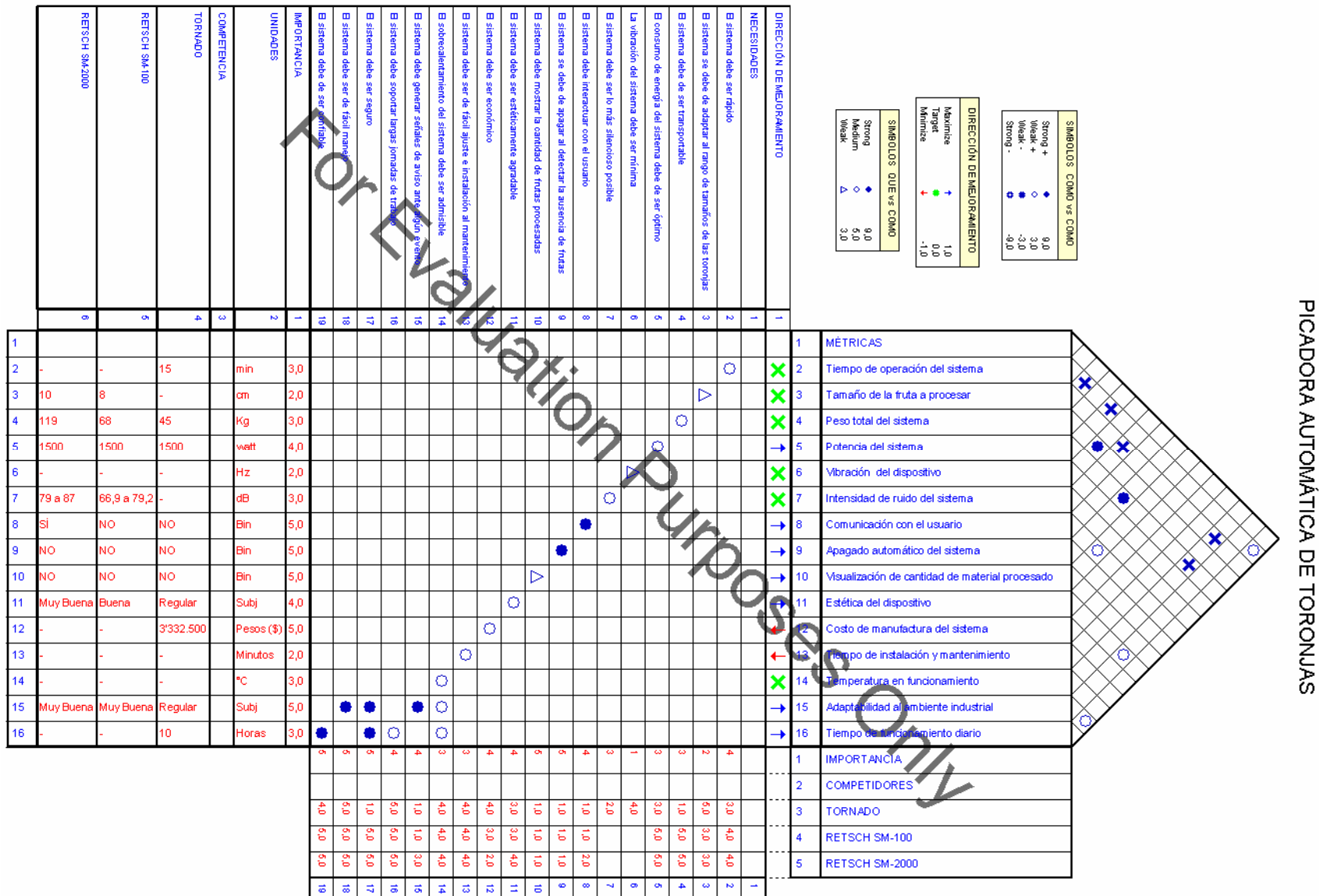
RESTSCH SM-2000

FITZ MILL SDA-S06

RESTSCH SM-100

**7.6.4 Casa de las calidades.** Finalmente se realiza la relación entre las necesidades planteadas por el cliente evaluadas en los productos competidores escogidos, así como las métricas definidas anteriormente evaluadas también en estos mismos competidores, esto con el fin de obtener el nivel de correlación técnica existente en cada elemento de estos dos aspectos. Para ello se utiliza el método QFD (Quality Function Deployment) o casa de las calidades que se muestra en la **Figura 33**.

Figura 33. Casa de las calidades



## **8. DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA**

En esta fase del proceso de diseño, se busca como primera instancia identificar todos y cada uno de los elementos que conforman el sistema, para pasar luego a determinar la arquitectura más conveniente para este producto, la cual garantice que la ubicación y distribución de cada grupo funcional del sistema afecte en lo mínimo la tarea y/o trabajo de los demás elementos que conforman dicho conjunto, como también el que estos llegaran a perturbar y entorpecer de manera significativa la función que éste elemento funcional desempeñaría.

### **8.1 ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO**

Para determinar el tipo de arquitectura que posee el dispositivo, se parte de la relación de los elementos físicos y funcionales que presenta todo el conjunto, teniéndose en cuenta los siguientes aspectos:

#### **8.1.1 Arquitectura Modular**

- Los conjuntos implementan una o pocas funciones completamente.
- La interacción de los conjuntos esta bien definida.
- Ventajas de simplicidad en sus componentes.

#### **8.1.2 Arquitectura Integral**

- Los elementos funcionales son implementados por varios conjuntos o viceversa.
- La interacción entre los conjuntos esta pobremente definida.
- Desempeño elevado y reducción de costos.

## 8.2 RELACIÓN DE ELEMENTOS FÍSICOS Y FUNCIONALES

**Tabla 18.** Relación elementos físicos vs elementos funcionales

<u>Elementos Físicos</u>	<u>Elementos Funcionales</u>
Fuente de energía eléctrica	Provee la alimentación al sistema
Motor	Genera movimiento para impulsar los mecanismos
Tolva	Almacenamiento y dosificación del material
Tamiz	Regula la salida del producto al tamaño deseado
Chumaceras	Soporta la carga del eje
Eje	Trasmite el par motor a sus elementos
Cuchillas	Realiza la acción de corte al material
Sellos Mecánicos	Evita que el material se riegue o se bote por el eje
Estructura	Incluye y soporta todos los elementos del sistema
Luces Piloto	Informan el estado del sistema
Modulo LCD	Informa detalladamente el estado de la máquina
Pulsadores	Interacción con el usuario

Como se puede apreciar en el esquema anterior, se identifica de manera clara la relación entre los elementos físicos y funcionales de todo el conjunto, correspondiéndole a cada elemento físico del sistema un solo elemento funcional y viceversa, esto hace que la interacción entre componentes físicos y funcionales este bien definido, característica primaria de la arquitectura modular. Por lo tanto, este esquema ayuda a identificar de manera clara el tipo de arquitectura que presenta el producto la cual es arquitectura modular.

### 8.3 MODULARIDAD DEL CONJUNTO

Conociéndose ya el tipo de arquitectura que presenta el producto descrito la cual es modular, se debe de determinar ahora el tipo de modularidad que presenta el conjunto, esto se define teniéndose en cuenta los siguientes criterios:

**8.3.1 Modularidad tipo conectores:** Cada interfase entre módulos es diferente siendo totalmente imposible cualquier cambio de estos conectores.

**8.3.2 Modularidad tipo bus:** Acepta la combinación de diferentes módulos funcionales estándar conectados al mismo bus con el mismo tipo de interfase.

**8.3.3 Modularidad local o seccional:** todas las interfaces son del mismo tipo, pero no hay un único elemento al cual se peguen los módulos.

**8.3.4 Modularidad mixta:** Combinación de las otras modularidades.

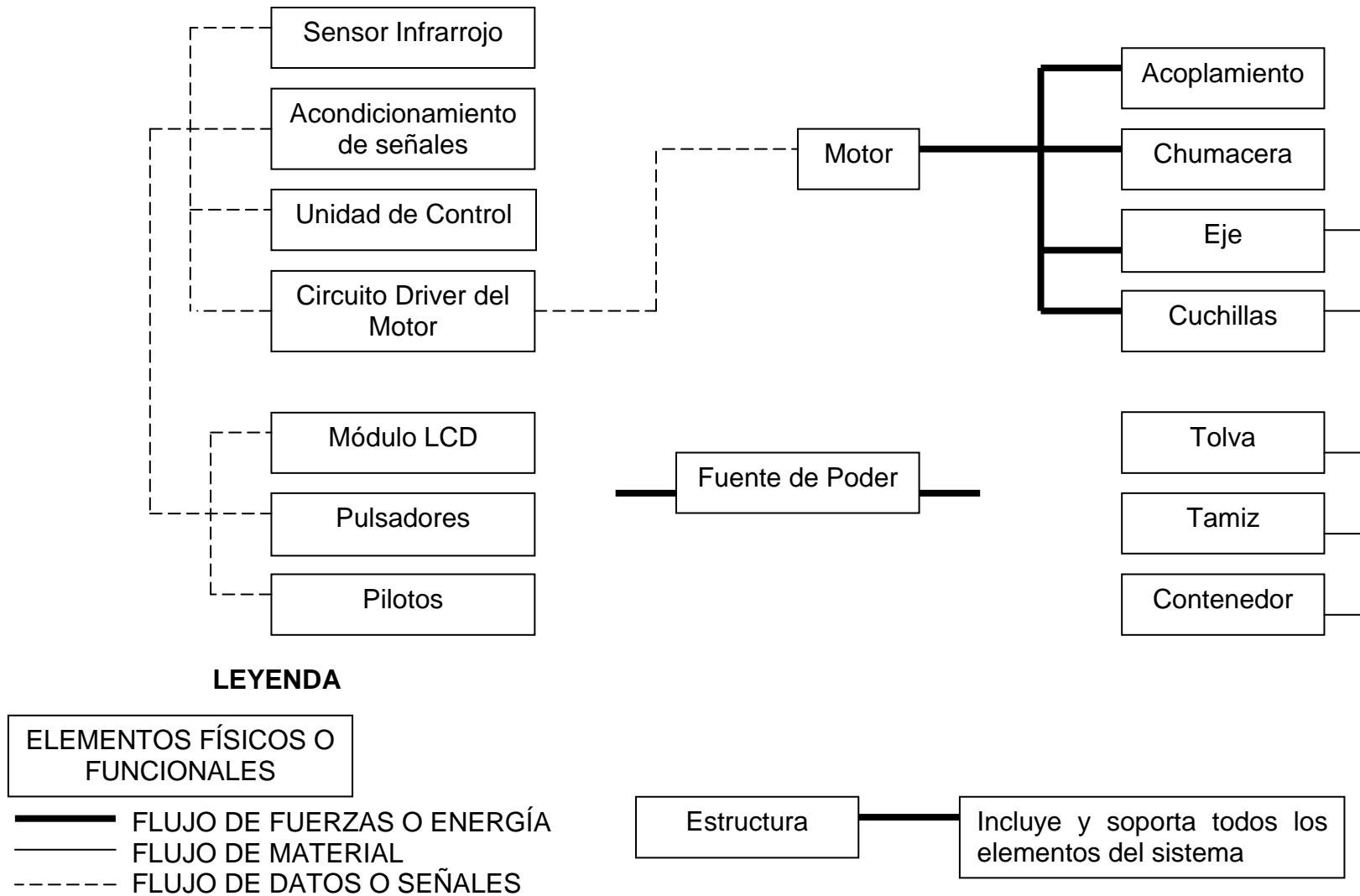
Considerando el hecho que toda la máquina como tal va a estar soportada por una estructura o chasis que sería el encargado de contener todas las piezas como elementos que conforman el dispositivo, se puede decir entonces que el **tipo de modularidad que tiene este dispositivo es tipo bus**, por ser la estructura una de las partes fundamentales de la máquina donde se conectarían los diferentes elementos o módulos funcionales del sistema.



Para establecer una arquitectura modular, según el proceso de diseño se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se crea un esquema del producto (**Figura 34**), en el cual se desglosan todos los elementos físicos del sistema tanto electrónicos como mecánicos, identificando además la forma como estos interactúan entre sí, para conocer de esta manera el flujo que recorre todos los elementos de la máquina.
- Se esboza la distribución geométrica de los componentes, es decir, el layout (**Figuras 35, 36, 37 y 38**), para poder analizar la forma en que los conjuntos (chunks) y sus elementos se van a distribuir en todo el espacio del sistema por medio de la estructura.
- Se agrupan los elementos de este esquema en conjuntos (**Figura 39**), a partir del esquema del producto, logrando así obtener los conjuntos de los elementos, y de esta manera se puede observar de forma objetiva los componentes de todo el sistema de forma clara y sencilla. Este esquema corresponde a las interacciones fundamentales.
- Finalmente, se identifican las interacciones incidentales (**Figura 40**) para analizar los factores tanto internos como externos que afectan a todos y cada uno de los elementos de cada conjunto de la máquina, que a su vez podrían ser causas de posibles fallas en el sistema a corto, mediano o largo plazo.

**Figura 34.** Esquema del producto

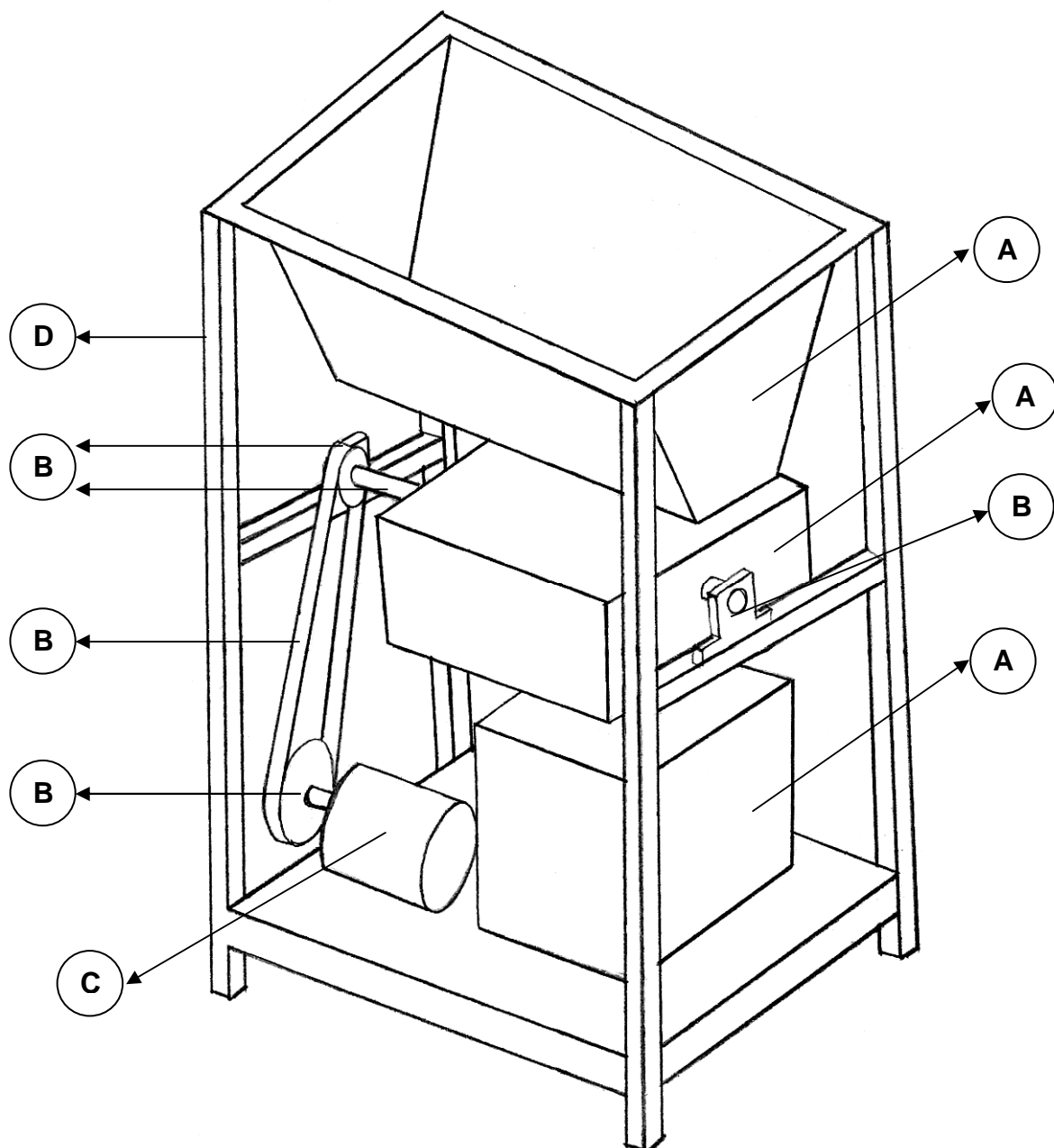


**8.3.5 Análisis de la distribución geométrica.** Teniéndose definido el tipo de arquitectura y los diferentes elementos que componen el sistema en general, lo siguiente es determinar la manera en que se van a ubicar cada elemento dentro del dispositivo a fin de lograr la distribución geométrica mas optima y conveniente. Para esto, se partió de dos configuraciones las cuales son muy similares entre sí, con la diferencia en que el sistema de transmisión que tendrá el dispositivo no se ha definido completamente, por lo cual se opta aquí por realizar esta última selección y así obtener el layout final del sistema. Las configuraciones descritas son:

- Sistema de transmisión directo (acoplamiento)
- Sistema de transmisor indirecto (correa y poleas)

**8.3.5.1 Sistema de transmisión indirecto.** Este arreglo consta de una correa o banda, la cual es la encargada de transferir al rotor de la máquina el par que genera el motor. El layout de esta configuración se muestra en la **Figura 35** junto con la clasificación de todos sus elementos físicos en conjuntos o chunk.

**Figura 35.** Distribución geométrica 1



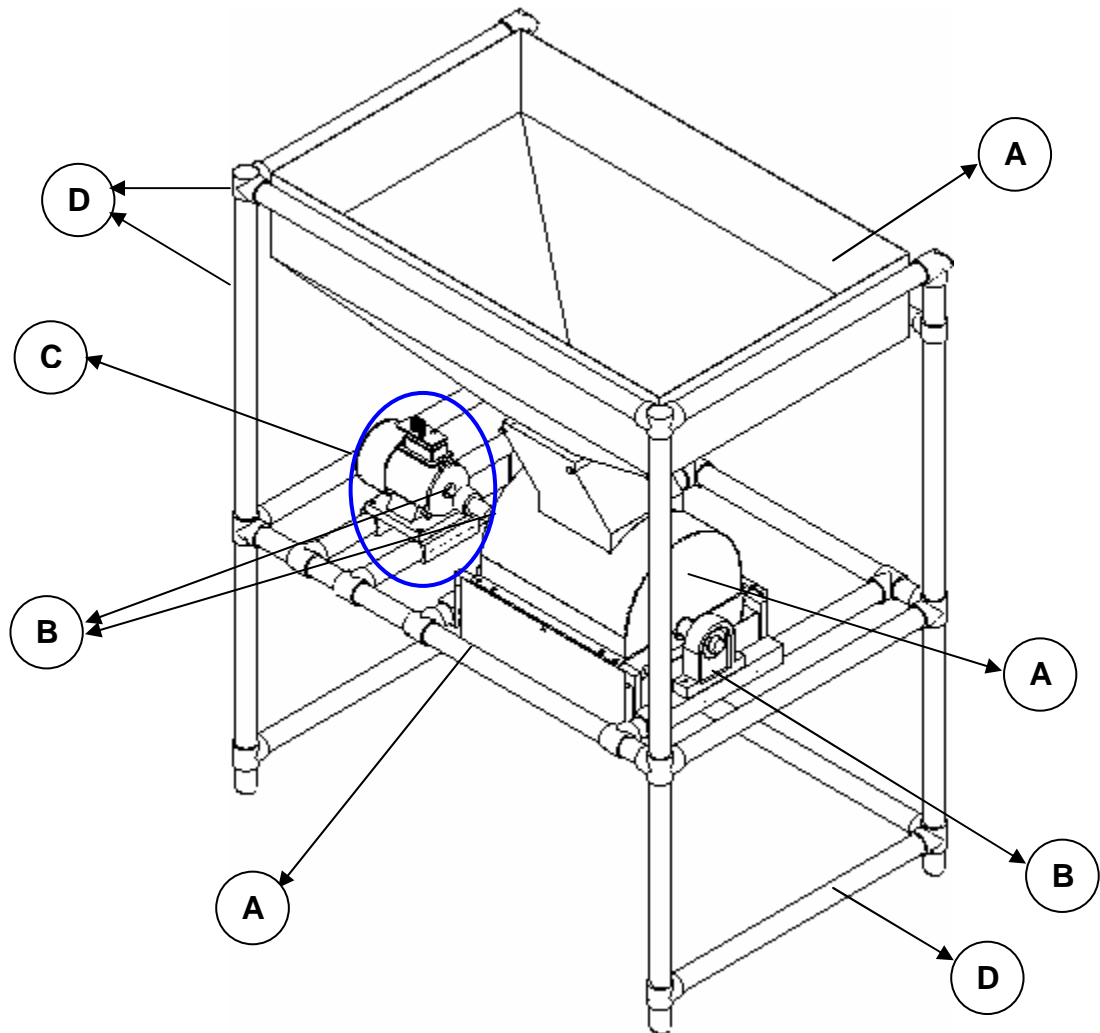
**Clasificación de los elementos físicos**

- (A) —————> Unidad de almacenamiento
- (B) —————> Mecanismo del sistema
- (C) —————> Actuadores
- (D) —————> Estructura o chasis

La ventaja que ofrece esta distribución en cuanto a su transmisión, es que se puede aumentar o disminuir la velocidad de giro del rotor con tan solo ajustar la relación entre poleas, esto con el fin de ajustar la fuerza de golpe que se le aplica al material, lo cual se requiere más que todo cuando el material a procesar es de naturaleza dura. Por otro lado, la desventaja que podría tener este arreglo, es que las poleas son elementos que tienden a deformarse con el tiempo debido a las fuerzas que actúan sobre ella, lo cual hace que sean elementos que requieran de una supervisión continua.

**8.3.5.2 Sistema de transmisión directo.** El sistema de transmisión en esta distribución se hace utilizando un acoplamiento para conectar el eje del motor con el eje del rotor de la máquina de manera alineada con respecto a su eje. La ventaja de este layout es que los componentes necesarios son menos con respecto al layout anterior, además de disminuir un poco el tamaño de la máquina. La distribución geométrica de esta configuración se muestra a continuación.

**Figura 36.** Distribución geométrica 2

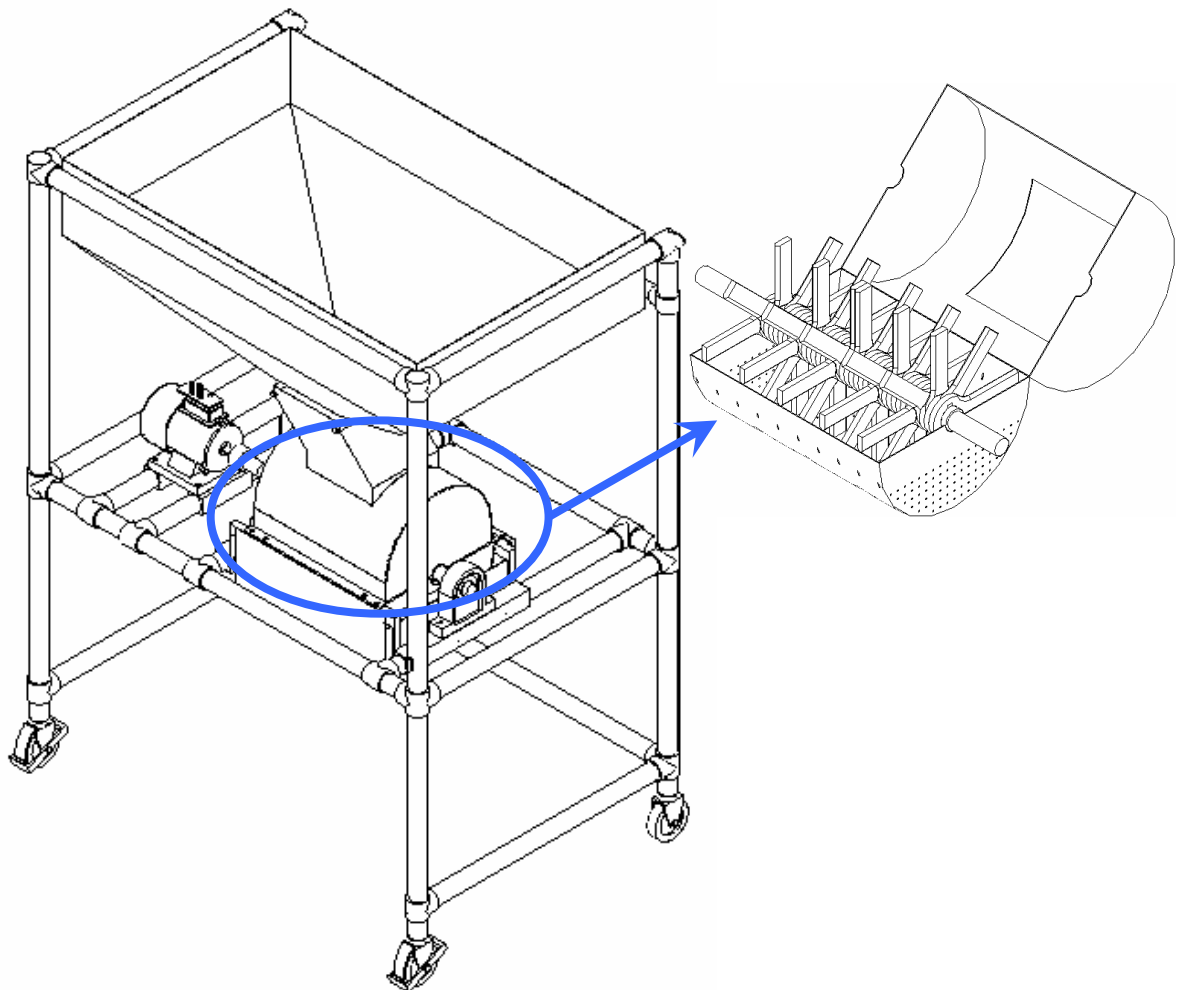


**Clasificación de los elementos físicos**

- A** → Unidad de almacenamiento
- B** → Mecanismo del sistema
- C** → Actuadores
- D** → Estructura o chasis

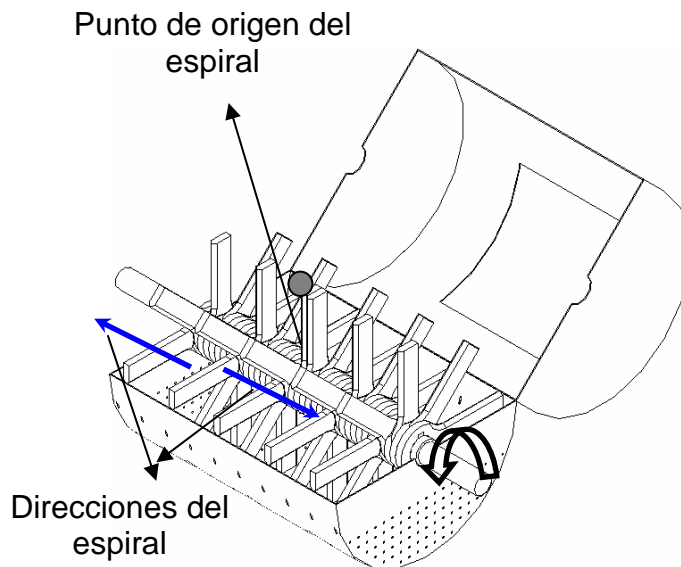
Como se pudo observar el layout número 2 (**Figura 36**) es el que ofrece más simplicidad para su construcción y además como se explicó anteriormente, el material pensado para que el dispositivo procese se es considerado de naturaleza blanda, lo cual no sería un factor crítico para que la máquina posea transmisión directa entre ejes. Por tanto, la distribución geométrica seleccionada para el dispositivo será la de transmisión directa (ver **Figura 36**). De este layout ahora se realiza un zoom donde se muestre la manera cómo van ubicadas y distribuidas las cuchillas en el rotor de la máquina. Esto se muestra en la siguiente figura.

**Figura 37.** Distribución geométrica final



La forma como van distribuidas las cuchillas en el eje tienen una razón, ya que de la manera en como se muestra en la **Figura 38**, cuando gira el rotor, genera en la cámara de molienda un barrido en forma de espiral a partir del centro de la longitud abarcada por las cuchillas el cual es el que permite evacuar de forma rápida el material que ya esta procesado a través de todos las salidas de la camisa (agujeros del tamiz) y en especial en las caras laterales del tamiz, para así de esta manera darle cavidad al material que apenas entra a la cámara el cual requiere de espacio para su procesamiento. Este efecto en espiral a partir de punto de origen produce dos barridos los cuales se van desplazando en direcciones opuestas conforme el rotor va girando, en la figura siguiente se muestra dicha situación.

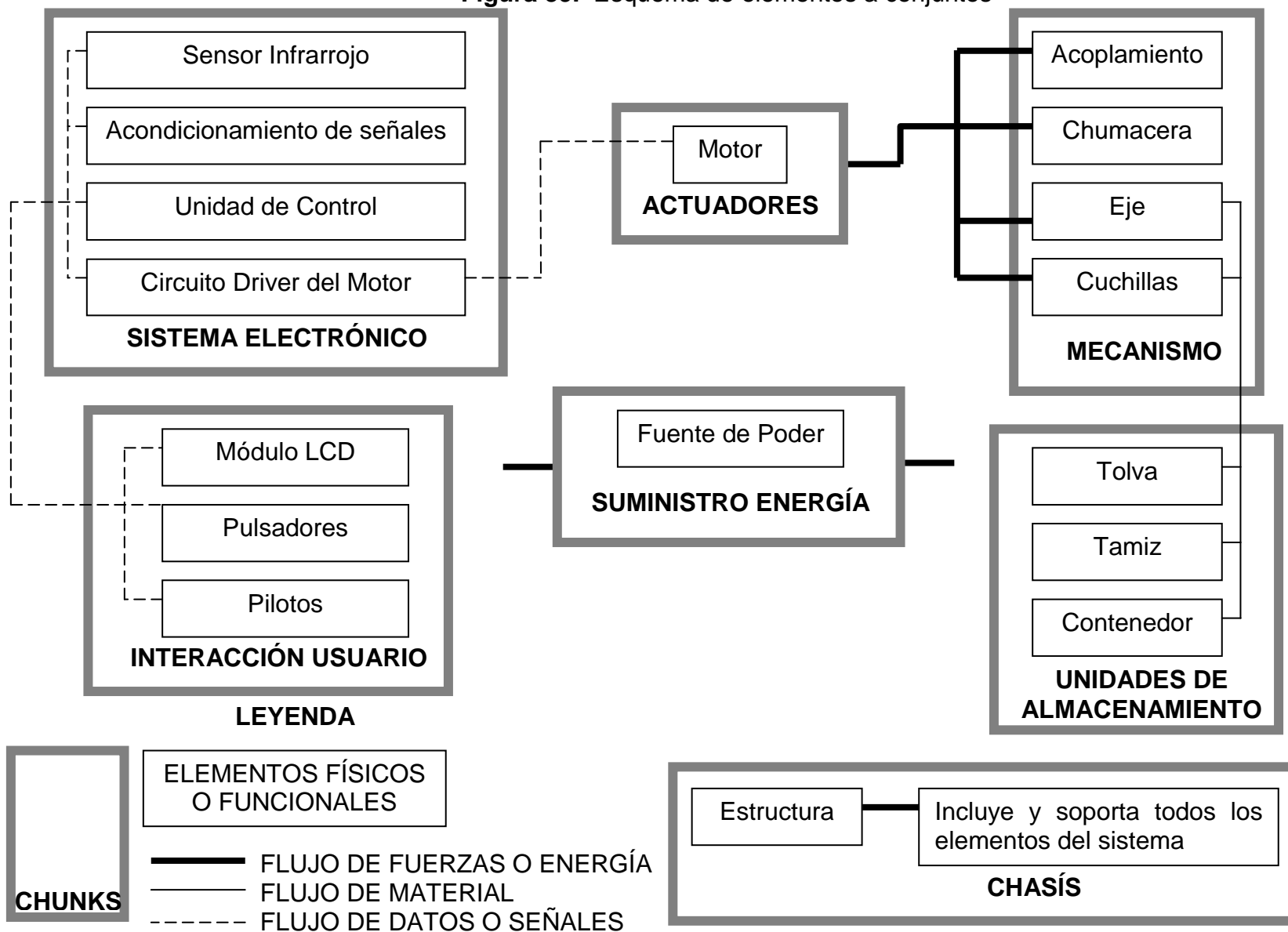
**Figura 38.** Operación del rotor



**8.3.6 Identificación de las interacciones fundamentales e incidentales.** En la **Figura 39**, se muestra las interacciones fundamentales que presentan entre sí todos los conjuntos del sistema, haciéndose llamar fundamentales, debido a que las funciones entre chunks se hace de manera planificada considerándose como esenciales para que el dispositivo funcione de manera correcta y esperada. Estas interacciones resultan a partir del esquema del producto de la **Figura 34**.

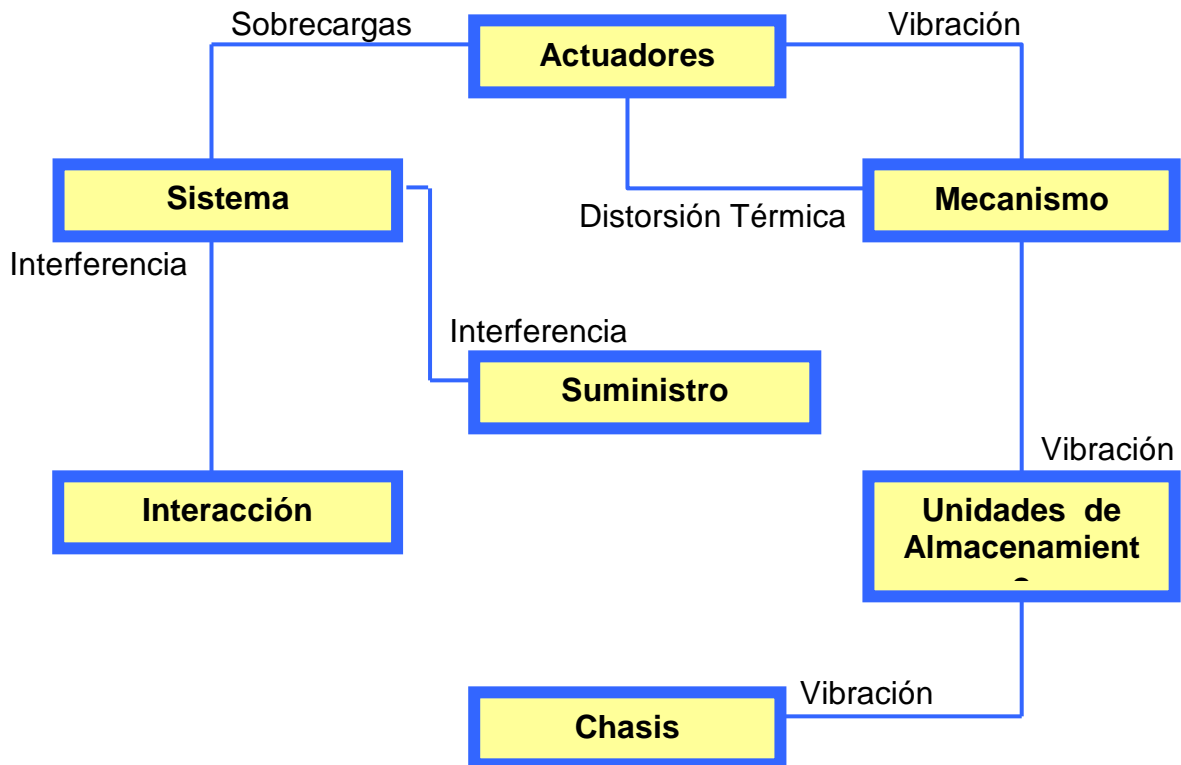


**Figura 39.** Esquema de elementos a conjuntos



Por otro lado, las interacciones incidentales son definidas como aquellas que ocurren en consecuencia de las interacciones fundamentales, siendo entonces acciones que ocurren de manera no planificada las cuales son las que podrían tener efectos negativos en el funcionamiento del sistema. Las interacciones incidentales que tendría el problema de diseño planteado se muestra en la **Figura 40**.

**Figura 40.** Interacciones incidentales



## 8.4 DISEÑO INDUSTRIAL

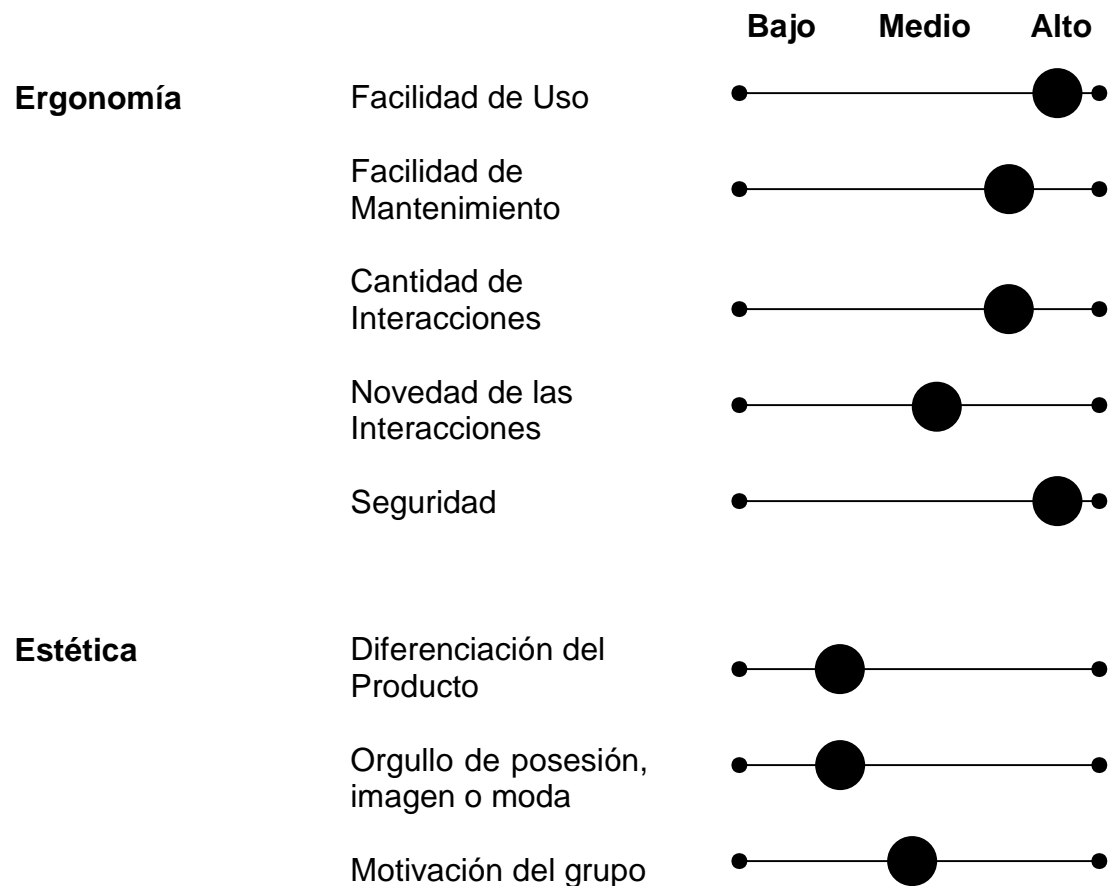
Para el diseño y desarrollo de un producto, no solamente se debe de tener en cuenta los aspectos de funcionalidad y operabilidad que va a tener el dispositivo para satisfacer la necesidad fundamental del cliente, sino que también se debe de considerar aspectos tales como la utilidad, apariencia, facilidad de mantenimiento, bajo costo, comunicación, etc., donde estos diferentes aspectos ayudan enormemente a que el producto como tal pueda obtener un valor agregado que le permita optimizar su función o tarea a desempeñar lográndose así, que este producto finalmente brinde un buen impacto visual y logre despertar bastante acogida para que el usuario pueda tener orgullo de posesión. El diseño industrial (DI) abarca todos estos aspectos mediante la siguiente metodología.

**8.4.1 Evaluación del nivel de importancia del DI en el producto.** Para evaluar el nivel de importancia que tiene el DI sobre la máquina, se deben identificar y evaluar las necesidades ergonómicas y estéticas, mediante una tabla de calificación en donde se evalúa el nivel de esfuerzo de diseño industrial que se debe de realizar por parte del grupo de diseño para satisfacer cada una de las necesidades tanto estéticas como ergonómicas. En la **Tabla 19**, se expresan estas necesidades y su calificación correspondiente. También se analiza la naturaleza del producto (**Figura 40**), identificando si éste depende de la tecnología o del usuario, para así tener en cuenta el nivel de prioridad del DI en dicho dispositivo.

**8.4.1.1 Necesidades ergonómicas de la máquina.** Las necesidades ergonómicas hacen referencia a la interacción con el usuario, en donde se tiene en cuenta la facilidad de uso y de mantenimiento, la cantidad de pasos que se deben de realizar para que el sistema opere, la seguridad que brinda al operario, entre otros. Con respecto a este producto, la ergonomía es favorable debido a la facilidad de operación que ofrece la máquina al tener pocos botones para su correcto funcionamiento, además de la utilización de un lenguaje gráfico (dibujos y texto puestos al lado de cada elemento de la interfaz de la máquina), que le permite a la persona solamente con observarlo deducir de manera intuitiva el modo correcto de operar el sistema.

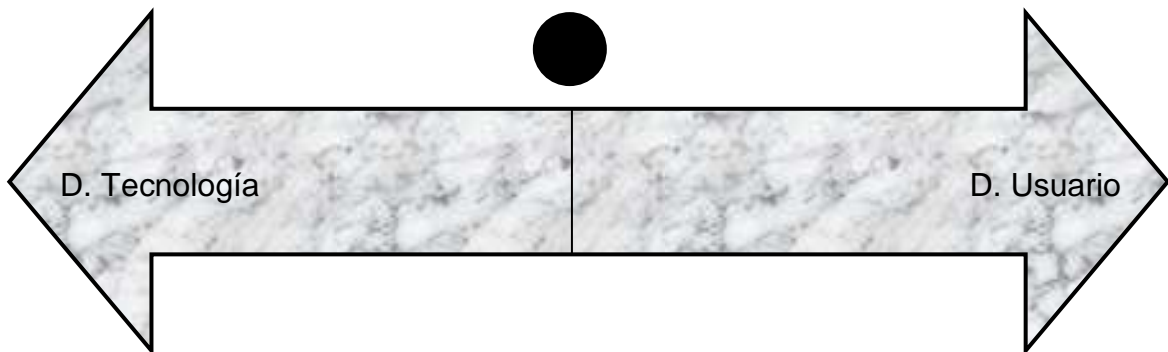
**8.4.1.2 Necesidades estéticas de la máquina.** Las necesidades estéticas, como su nombre lo indica, hace referencia a la apariencia y a el impacto visual que provoca el dispositivo hacia el cliente. A primera vista, el producto genera curiosidad al observar la forma y tamaño de sus dimensiones dando una impresión positiva en cuanto a su aspecto físico se refiere. Esto resulta conveniente para el desarrollo de todo este proceso, ya que conlleva a una motivación por parte del grupo de trabajo además del usuario al cual va dirigido este producto; sin embargo, se considera que este aspecto no es un factor tan influyente en la toma de decisión por parte de este último a la hora de pretender adquirir el producto, debido a que el ambiente donde se va a desenvolver este sistema es un ambiente netamente industrial. Por lo tanto, el esfuerzo del DI en este aspecto es relativamente bajo.

**Tabla 19.** Valoración del Diseño Industrial



**8.4.1.3 Naturaleza del Producto.** La naturaleza del producto corresponde hacia dónde tiende la dominación del producto: hacia el usuario o hacia la tecnología. Dependiendo de esto, el diseño industrial se hace o no más exigente.

**Figura 41.** Producto dominado por la tecnología o por el usuario

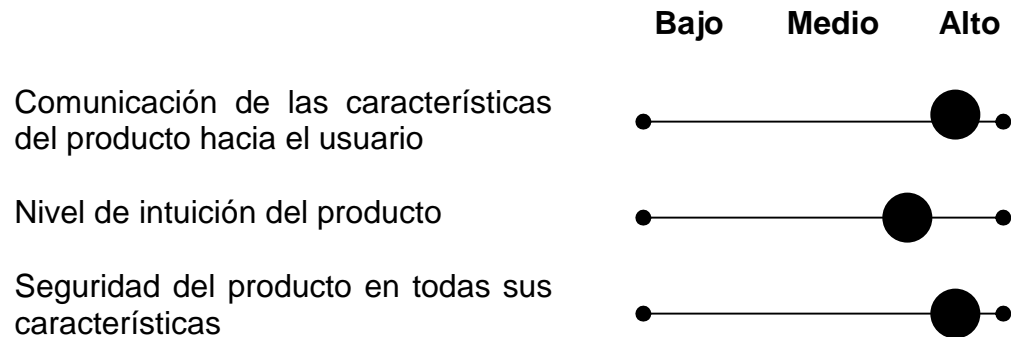


En el caso de esta máquina (**Figura 41**), se consideró que ésta dependía tanto de la tecnología como del usuario, pues por la parte de la tecnología, obviamente el diseño industrial tiene una exigencia considerable con respecto a las necesidades ergonómicas, estéticas y de seguridad industrial; pero por otro lado, con respecto al usuario, también tiene su dependencia, pues éste debe de ingresar el material a la tolva de alimentación de la máquina, debe activar el sistema para que empiece a procesar la fruta, y debe de recoger el material ya procesado, además de la limpieza y mantenimiento que periódicamente se debe de realizar. Por estas razones, la máquina también depende del usuario, y por eso es que se considera la dependencia en ambos lados.

**8.4.2 Evaluación de la calidad del diseño industrial.** En la evaluación de la calidad del DI, se desglosa de manera más específica el análisis de las necesidades estéticas y ergonómicas, en donde se aprecia de manera detallada el esfuerzo de DI sobre el producto.

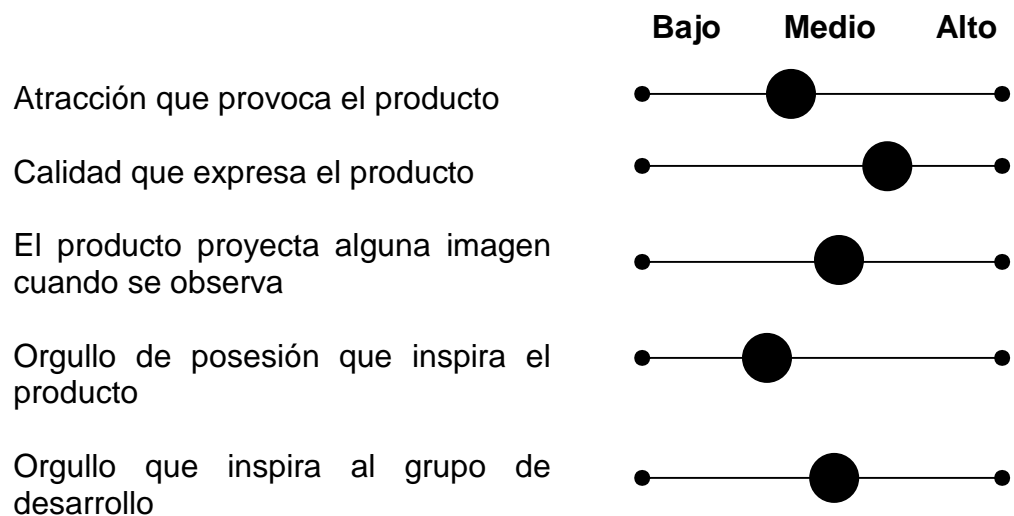
**8.4.2.1 Calidad de las interfases de usuario.** Evalúa cuán fácil de usar es el producto.

**Tabla 20.** Evaluación de la calidad del DI: interfases de usuario



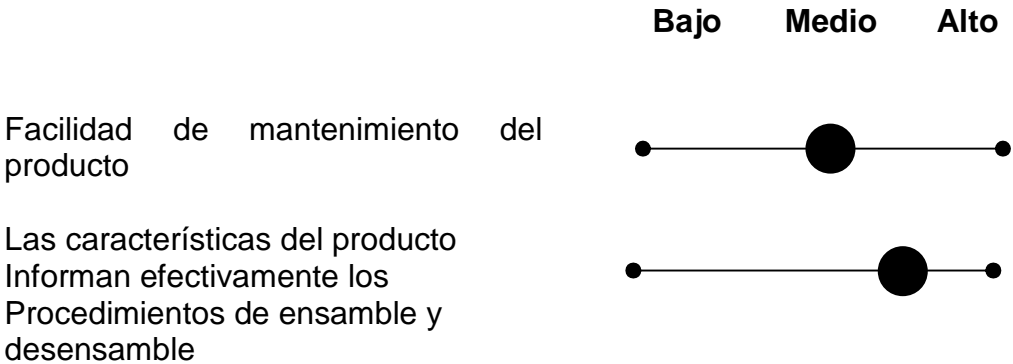
**8.4.2.2 Requerimientos emocionales.** Evalúa los requerimientos generales del consumidor.

**Tabla 21.** Evaluación de la calidad del DI: requerimientos emocionales



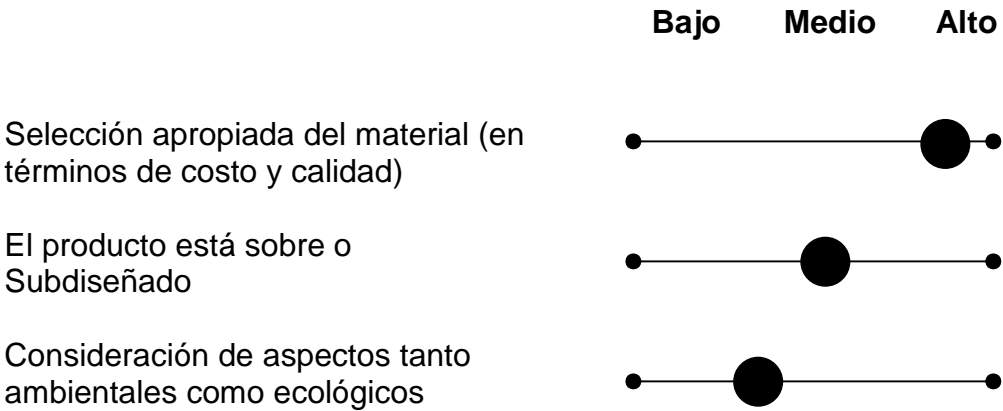
8.4.2.3 Facilidades de Mantenimiento y Reparación

Tabla 22. Evaluación de la calidad del DI: facilidad de mantenimiento y reparación



8.4.2.4 Uso apropiado de recursos. Evalúa cuán bien han sido utilizados los recursos para satisfacer las necesidades del cliente.

Tabla 23. Evaluación de la calidad del DI: uso apropiado de recursos



## **8.5 DISEÑO PARA MANUFACTURA**

**8.5.1 Análisis del diseño para manufactura.** En esta fase del proceso de diseño y desarrollo seguido, se busca enfocar y analizar el estudio de todos los aspectos de manufactura que implica el desarrollo e implementación del producto, con el propósito de buscar la manera de reducir los costos que están asociados para su producción, sin tener que sacrificar la calidad final de éste, y lograr así la concepción del producto más indicado y óptimo.

El diseño para manufactura (DPM) está contenido a lo largo del proceso de diseño y desarrollo en las siguientes etapas:

**8.5.1.1 DPM en el desarrollo conceptual.** Teniendo en cuenta que el DPM ofrece un amplio espectro de las posibilidades en los procesos de manufactura con los que pueden llegar a ser generados los conceptos de esta etapa, la aplicación de esta práctica de desarrollo presenta una herramienta adicional para la selección del concepto más indicado para desarrollarse, previendo aspectos tales como costos de manufactura, costos de los componentes y proveedores. También permite una vez definidas las especificaciones del producto, evaluar cada una de estas con respecto a sus costos implicados para su manufactura.

**8.5.1.2 DPM en el diseño a nivel de sistema.** En esta fase, el DPM permite resolver el cómo subdividir el producto para la conformación de sus Chunks, basándose en las similitudes de tecnología de producción para la determinación de su arquitectura. Esto se logra basándose tanto en los costos como en las dificultades que represente el proceso de construcción.

**8.5.1.3 DPM en el diseño detallado.** Aquí, el DPM ayuda a determinar y estimar un costo más preciso para cada una de las piezas y elementos que conforman el producto. Por lo tanto, el impacto que tiene el DPM en esta fase es notorio en cuanto a la obtención de un dispositivo a los más bajos costos con el mejor desempeño y la mejor calidad posible.

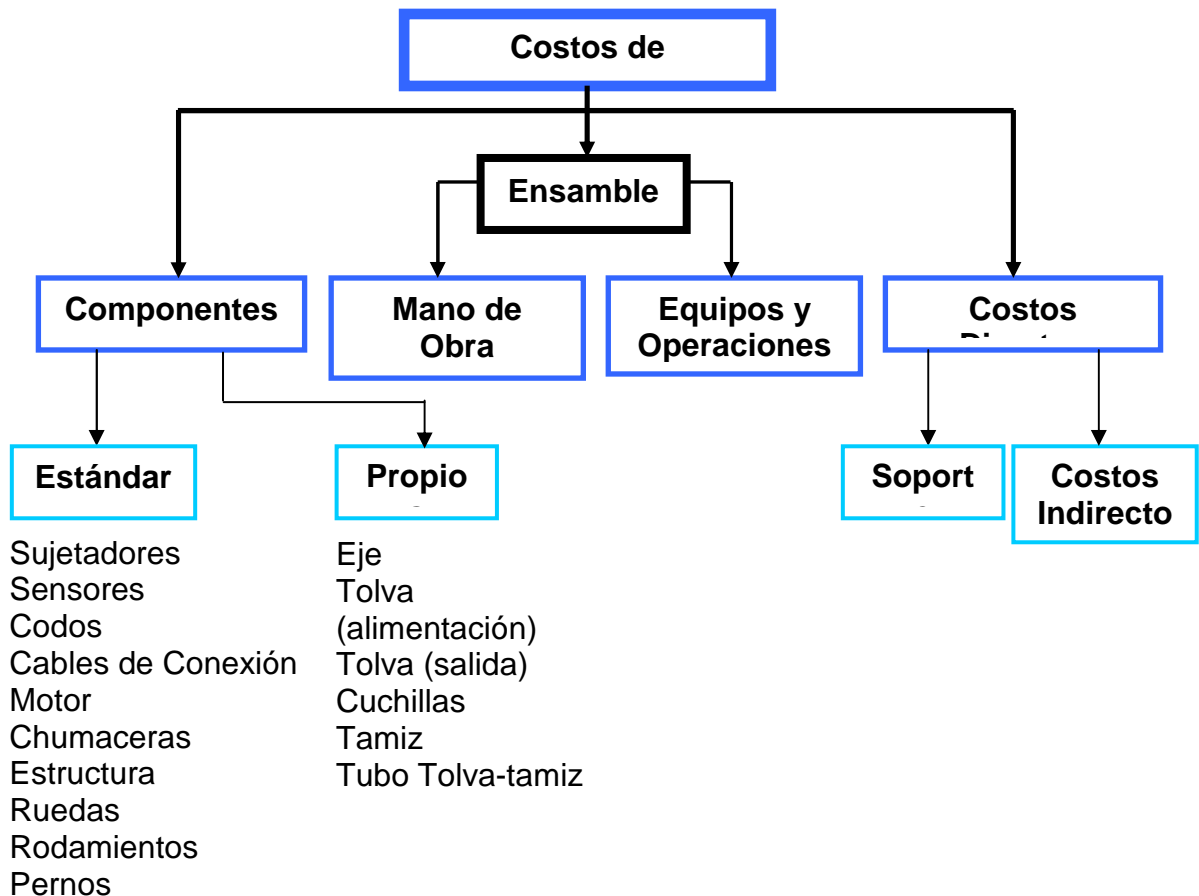


**8.5.2 Diseño para ensamble.** Debido a los requerimientos exigidos para el producto como lo es la facilidad de ensamble y de mantenimiento que este debe de ofrecer (esto por que el dispositivo está referido a la manipulación directa de alimentos), se hace necesario que el sistema se construya bajo interacciones simples y definidas (arquitectura modular), las cuales permitan una fácil remoción del sistema para el caso de realizarse limpieza y mantenimiento a la máquina, sobre todo en las partes donde hay contacto directo con la fruta. Sin embargo, hay otro aspecto importante que se debe de tener en cuenta en el diseño, el cual es la seguridad que debe de brindar el producto al usuario, ya que si se piensa que todas las partes de la máquina van a ser de fácil acceso y alcance para el operario, se estaría corriendo un riesgo en la integridad y seguridad en dicha persona, y por eso se pensó en el diseño de tal forma que la máquina contenga las partes críticas (como el caso del eje y las cuchillas en movimiento) alejado del operario. Por tal razón, se sacrificó en el diseño la facilidad con respecto al acceso a la cámara de molienda.

**8.5.2.1 Maximización de la facilidad de ensamble.** En este aspecto, se buscó que los ensambles que tuviera el dispositivo fueran lo más simples posibles; por tal motivo, la conexión entre piezas y elementos se realizó utilizando ajustadores los cuales ofrecieran la facilidad de ensamble y desensamble en la máquina cuando esta lo requiriera para efectos de limpieza y/o mantenimiento, lográndose a su vez confianza y seguridad en los conexiones. Con esto entonces, el dispositivo va a demandar una cantidad mínima de componentes al suprimirse la necesidad de usar tornillos como demás elementos para realizar acoples entre piezas, así como las herramientas para ensamblar o desarmar.

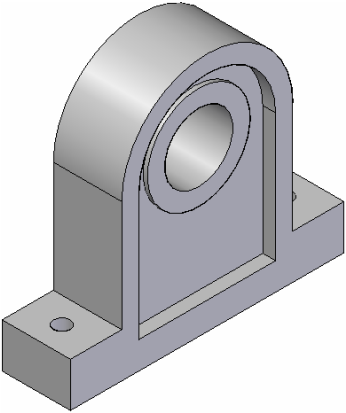
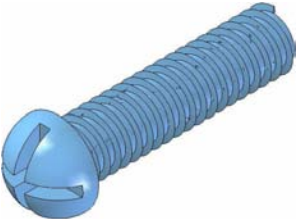
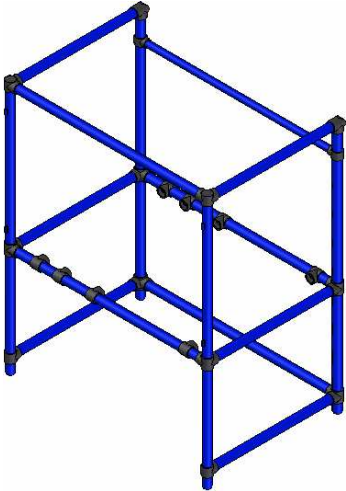
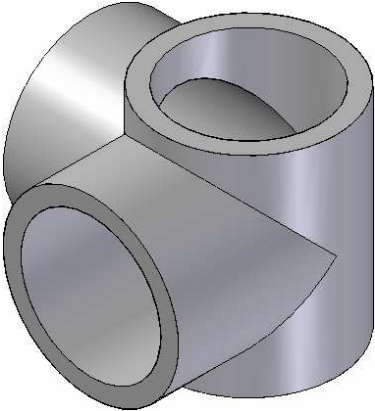
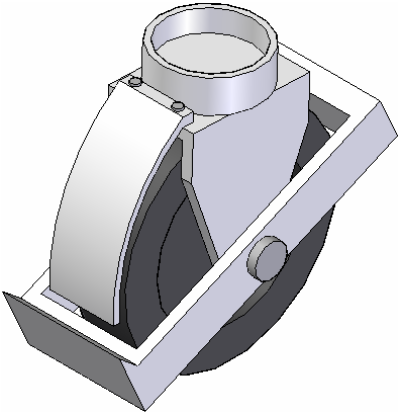
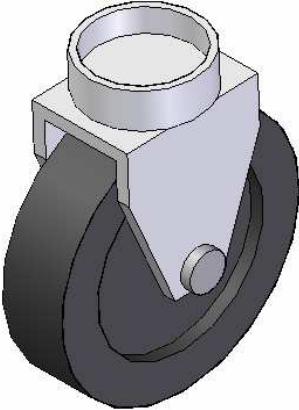
### 8.5.3 Costos de manufactura

**Figura 42.** Esquema del los costos de manufactura



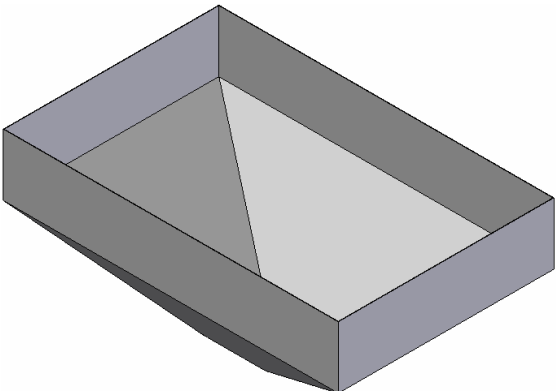
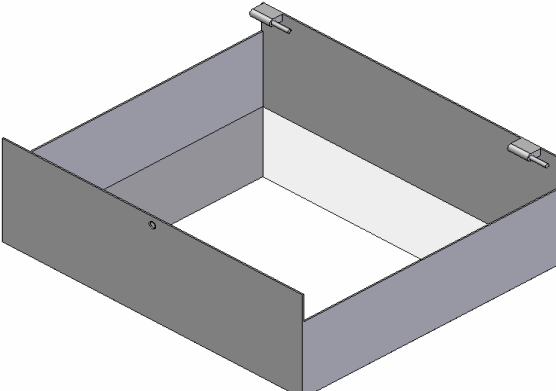
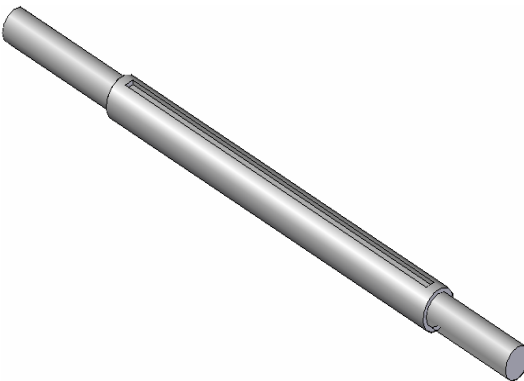
**8.5.3.1 Estimación de los costos de manufactura.** Para la estimación de los costos de manufactura, se partió de la **Figura 42**, donde los componentes requeridos para la construcción de la máquina se clasificaron en dos tipos: Los componentes estándar (**Tabla 24**), los cuales están conformados por componentes que se hallan presentes en el mercado local, siendo este tipo de componentes un punto importante en el desarrollo del sistema, ya que el hecho de utilizarlos agiliza tanto la construcción como también la reparación ante cualquier daño, y la característica principal es que están presentes en el mercado, lo cual es un factor favorable ya que su presencia y fácil consecución abarata los costos del dispositivo. Por otro lado, se tienen los componentes propios (**Tabla 25**), los cuales son construidos a partir de cierta materia prima especial acompañada de unos determinados procesos de maquinado. Este tipo de componentes son los que constituyen principalmente la estructura física de la máquina.

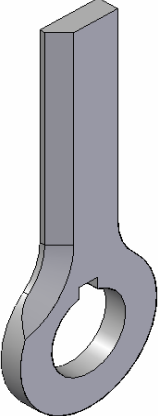
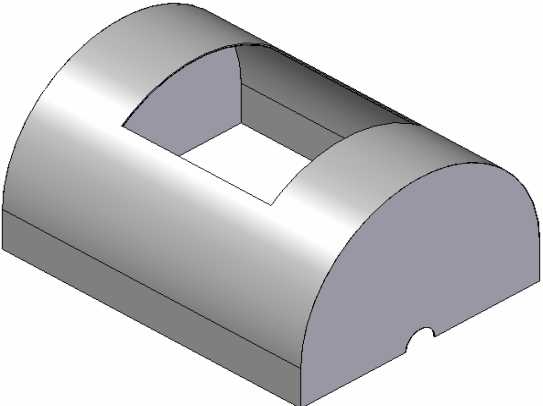
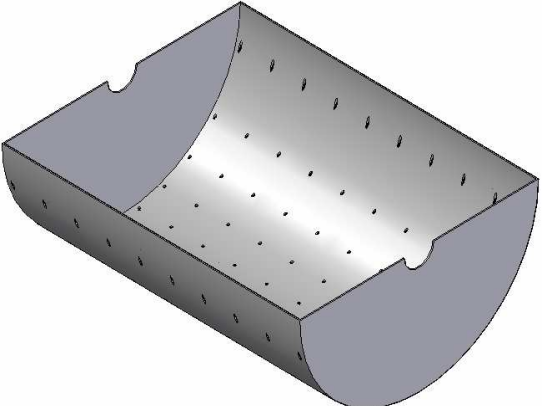
**Tabla 24.** Descripción general de los componentes estándar

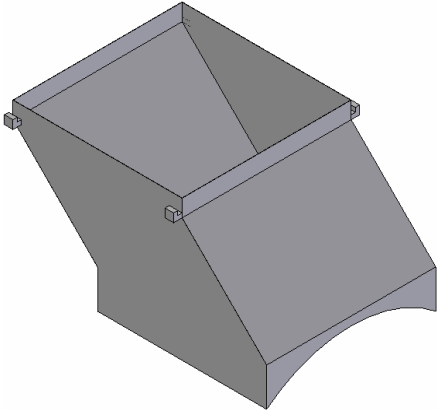

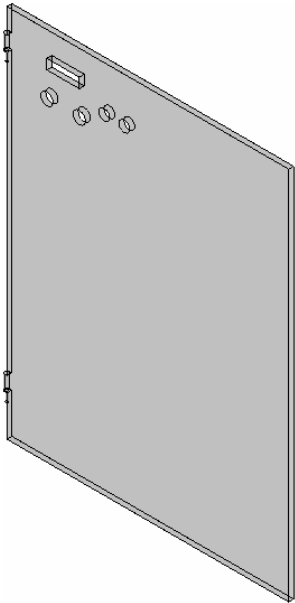
COMPONENTES ESTANDAR	
 <p>Soportes + rodamientos</p>	 <p>Pernos</p>
 <p>Tubos (estructura)</p>	 <p>Codos de 3/4 "</p>
 <p>Ruedas locas</p>	 <p>Ruedas fijas</p>

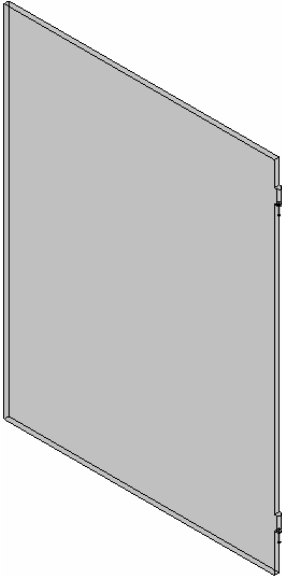
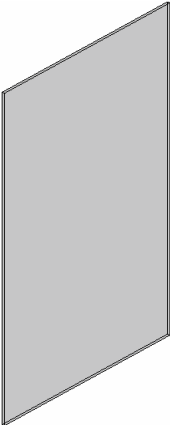
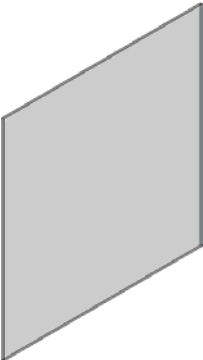
Con respecto a los componentes propios, y considerando que para el análisis de costos de estos componentes se debe de tener en cuenta aspectos tales como las materias primas y el maquinado al que debe ser sometido cada uno de ellos, la información pertinente para cada uno de estos será incorporada en la **Tabla 25**.

**Tabla 25.** Listado de componentes propios

<b>Parte mecánica</b>		
<b>Componente propio</b>	<b>Materia prima</b>	<b>Maquinado</b>
 <p>Tolva de alimentación</p>	Acero inoxidable	Despliegue Doble Soldadura
 <p>Tolva de salida</p>	Acero inoxidable	Despliegue Doble Soldadura
 <p>Eje</p>	Acero inoxidable	Torneado Fresado

Componente propio	Materia prima	Maquinado
 <p>Cuchillas x 40</p>	Acero inoxidable	Estampado Torneado Fresado
 <p>Tapa del tamiz</p>	Acero inoxidable	Despliegue Soldadura Doble
 <p>Tamiz</p>	Acero inoxidable	Despliegue Soldadura Doble Taladrado (broca de tungsteno)

Componente propio	Materia prima	Maquinado
 <p data-bbox="516 705 781 737">Tubo tamiz – tolva</p>	Acero inoxidable	Doble Soldadura
 <p data-bbox="443 1146 850 1178">Soporte cámara de molienda</p>	Acero inoxidable	Taladrado Soldadura
 <p data-bbox="475 1808 816 1839">Puerta Frontal Izquierda</p>	Acrílico	Taladrado Corte

Componente propio	Materia prima	Maquinado
 <p data-bbox="488 888 803 921">Puerta frontal derecha</p>	Acrílico	Corte Bisagras: (cloruro de metileno)
 <p data-bbox="534 1365 756 1400">Tapa lateral x 2</p>	Acrílico	Corte
 <p data-bbox="553 1770 737 1799">Tapa trasera</p>	Acrílico	Corte

**8.5.3.2 Reducción de los costos de manufactura.** Para la realización de los costos de manufactura del sistema, se logró una reducción de costos mediante la identificación minuciosa de proveedores, los cuales ofrecieran materiales y componentes necesarios a precios más favorables, esto tanto para los componentes que conforman el sistema mecánico como para los necesarios para conformar el sistema electrónico. También, para algunos elementos difíciles de conseguir, se realizó una selección de componentes alternos que tuvieran características similares sin alterar la calidad o factores similares, pero con costos más moderados que los anteriores. Una vez identificado la totalidad de los elementos de los tres subsistemas (mecánico, eléctrico y electrónico), y haber reducido los costos de manufactura en lo posible, se obtienen los costos totales de la parte mecánica (**Tabla 26**), eléctrica (**Tabla 27**) y la parte electrónica (**Tabla 28**).

**Tabla 26.** Especificación de costos del sistema mecánico

<b>Costos del subsistema mecánico</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Tolva de alimentación	1	1'200000	1'200000
Tolva de recolección	1	600000	600000
Tubo (estructura)	15	10000	150000
Tamiz	1	160000	160000
Cubierta tamiz	1	120000	120000
Eje	1	220000	220000
Tubo Tolva – Tamiz	1	260000	260000
Soporte con rodamiento	2	33960	67920
Cuchillas	40	36000	1'440000
Seguro Cuchillas	2	5000	10000
Ruedas locas	2	30000	60000
Ruedas fijas	2	25000	50000
Puertas y tapas	5	60000	300000
Sello mecánico	2	30000	60000
Codos de ¾ pulg (aguas negras)	15	2000	30000
<b>Valor Total</b>		<b>4'727920</b>	



**Tabla 27.** Especificación de costos del sistema eléctrico

<b>Costos del subsistema eléctrico</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Motor de jaula de ardilla de 5HP trifásico	1	869200	1'008272
Contactador	1	231500	268540
Relé térmico bimetálico	1	197900	229564
<b>Valor Total</b>			<b>1'506376</b>

**Tabla 28.** Especificación de costos del subsistema electrónico

<b>Costos del subsistema electrónico</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor total</b>
Microcontrolador PIC 18F252	2	20000	40000
Fuente de poder	1	50000	50000
Regulador de voltaje LM7805	2	900	1800
Regulador de voltaje LM7809	1	950	950
Pulsador miniatura N.A	2	300	600
Base para circuito integrado de 28 pines	2	250	500
Cristal de 4 MHz	2	800	1600
Capacitor de 33 pF	2	50	100
Resistencia de 10 K $\Omega$ ½ W	20	20	400
Resistencia de 240 $\Omega$ ½ W	20	20	400
Resistencia de 47 $\Omega$ ½ W	2	20	40
Modulo LCD de 2 x 16	1	25000	25000
Condensador de 1200 $\mu$ F / 25 V	1	300	300
Condensador de 1 $\mu$ F/25 V	1	50	50
Condensador cerámico 104 (0.1 uf)	3	50	150
Pulsadores industriales	2	30000	60000
Luces piloto	2	30000	60000
Buzzer	1	1500	1500
Transistor NPN 2N3904	1	150	150
Moc 4N26	20	700	14000
Switch de codillo	1	1500	1500
Bumper	2	1000	1000
Sensor infrarrojo	1	80000	80000
Potenciómetro de 10 K $\Omega$	1	600	600
Tarjeta electrónica principal	1	50000	50000
Conector de alimentación	10	600	6000
SCR T106B	2	1500	3000
Diodos rectificadores 1N4004	2	40	80
<b>Valor Total</b>			<b>399720</b>

Finalmente, para estimar el costo total del sistema, se realiza la suma de los costos obtenidos anteriormente, incluyendo el costo de diseño por parte de los ingenieros, obteniéndose un valor total el cual se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 29.** Costo total del sistema

<b>Costos del sistema en General</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor total</b>
Valor de subsistema mecánico	4'727920
Valor del subsistema eléctrico	1'506376
Valor del subsistema electrónico	399720
Valor costo de diseño (ingeniería)	6'000000
<b>VALOR TOTAL PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA</b>	<b>12'634016</b>

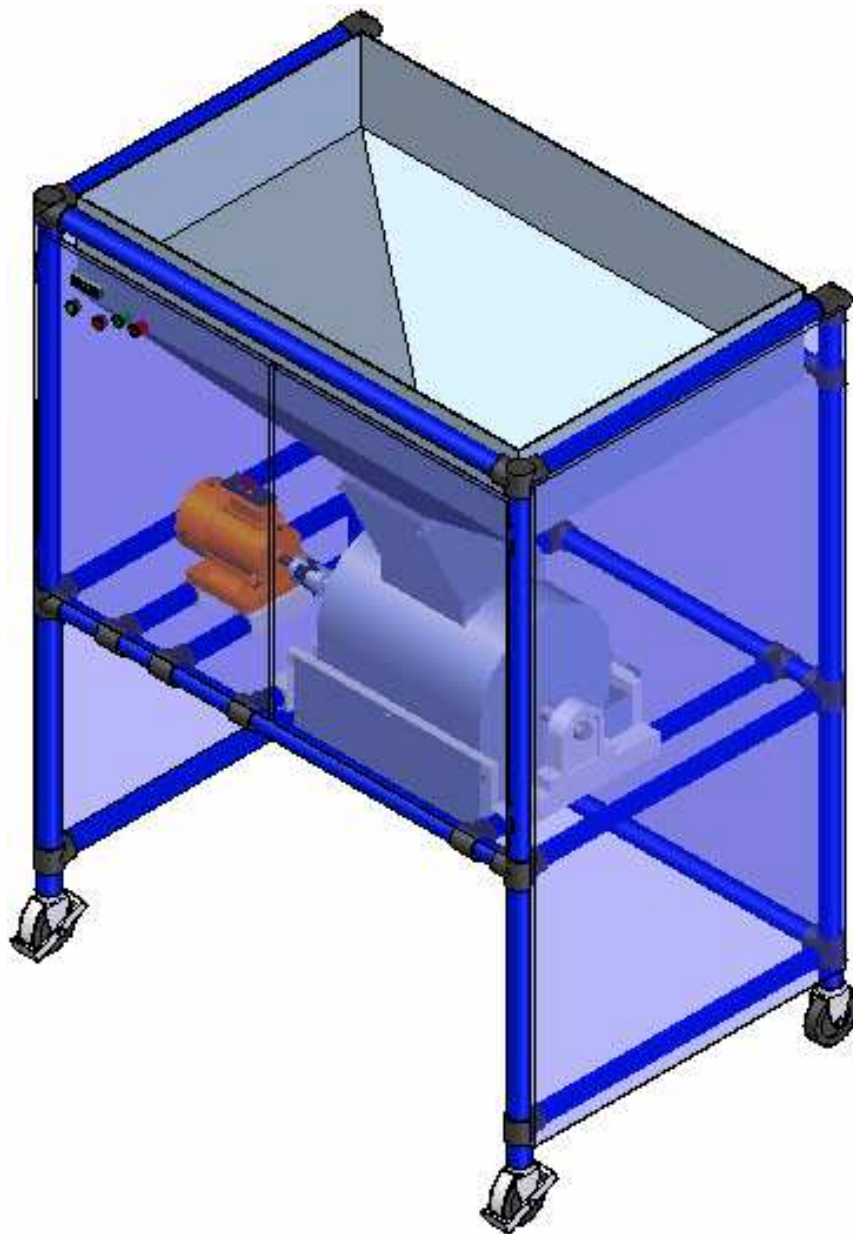
**8.5.4 Impacto del DPM sobre otros factores.** El tiempo de desarrollo se aumentó en el diseño para manufactura debido a los componentes propios, pues sus exigentes características y procesos de maquinado que requieren para su fabricación este tipo de componentes hacen que el tiempo de desarrollo se expanda.

La selección adecuada de los materiales de cada uno de los componentes tanto estándar como propios, así como la optimización de los procesos de manufactura en cada una de sus partes, aumenta el nivel de calidad de cada una de las piezas y por ende la totalidad de la máquina.

## 8.6 DISEÑO FINAL

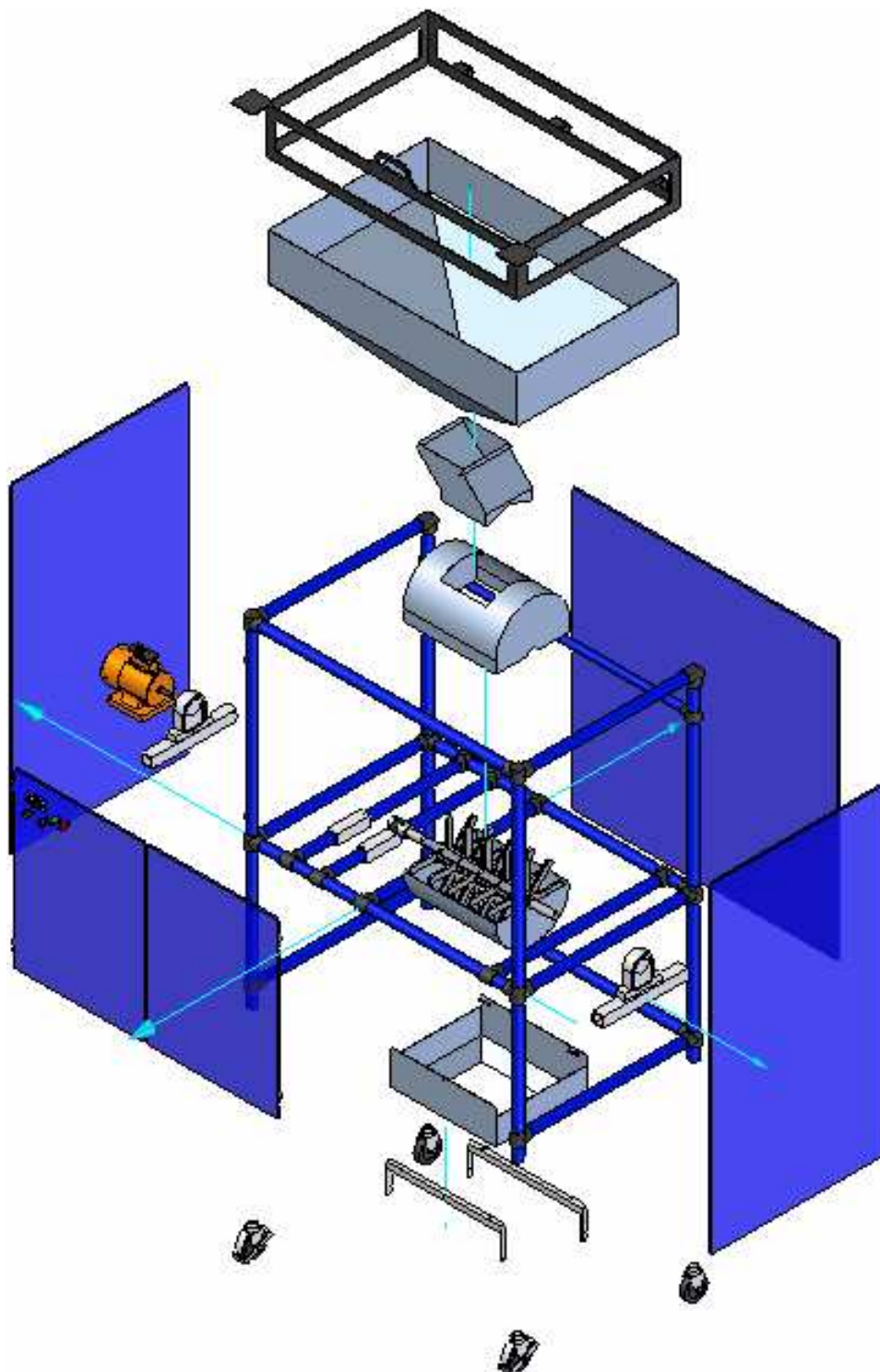
Como resultado de todo el proceso de diseño, en la **Figura 43** se muestra el diseño final del molino de martillos de canto filoso, para picar toronjas.

**Figura 43.** Diseño final



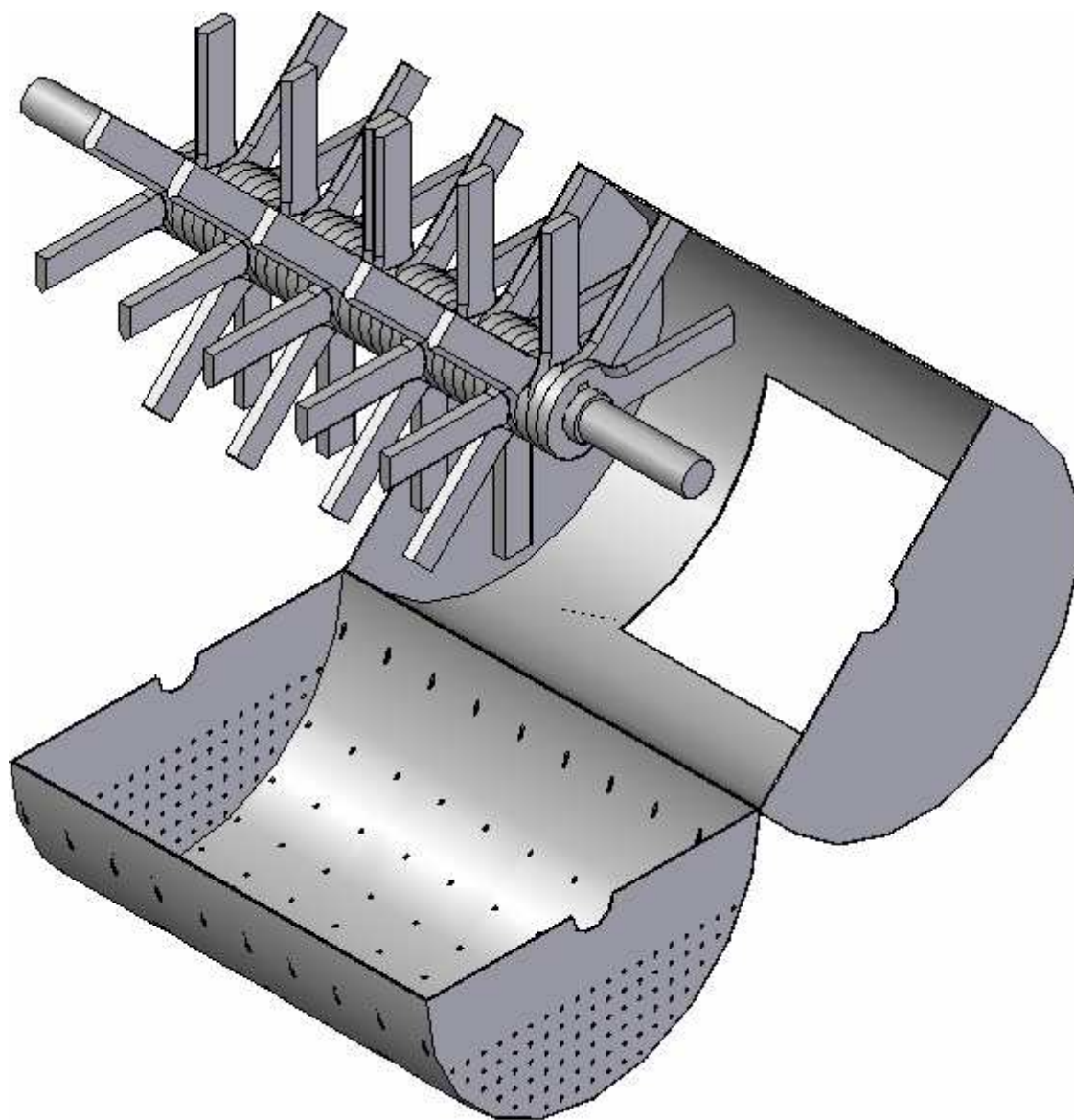
En la **Figura 44**, se muestra una vista explosionada del diseño final, en donde se esboza las diferentes piezas y elementos que lo conforman.

**Figura 44.** Vista explosionada de la máquina



En la **Figura 45**, se muestra la forma en como van distribuidas las cuchillas en el eje del rotor del molino.

**Figura 45.** Vista explosionada de la cámara de molienda



## 8.7 PROTOTIPADO

El prototipado ayuda a obtener una aproximación o idea de cómo se verá el producto una vez éste ya se haya terminado de construir en su totalidad (producto final), a través de una o más dimensiones de interés. Una de las ventajas que ofrece el prototipado, es que permite obtener una retroalimentación tanto del usuario del producto como del grupo de diseñadores al poderse analizar de manera clara y detallada el cómo se darán las interacciones entre los conjuntos que conforman el dispositivo.

**8.7.1 Clasificación del prototipado.** Los prototipados se clasifican en dos dimensiones a las cuales les corresponde dos tipos, estos son:

### **Dimensión 1: Físicos Vs. Analíticos**

**8.7.1.1 Prototipado físico.** Dispositivos tangibles, creados para aproximarse al producto. Corresponden a este tipo los modelos que se lucen y se sienten como el final (look – like y feel – like), para prueba de conceptos rápidos, hardware experimental para probar funcionalidad, etc.

**8.7.1.2 Prototipado analítico.** Representan el producto en una forma no tangible, usualmente por modelos matemáticos. Se analizan aspectos de interés pero no de su construcción. Corresponden a este tipo los prototipos virtuales (simulaciones en 3D), modelos de ecuaciones, simulaciones en computadora, etc.

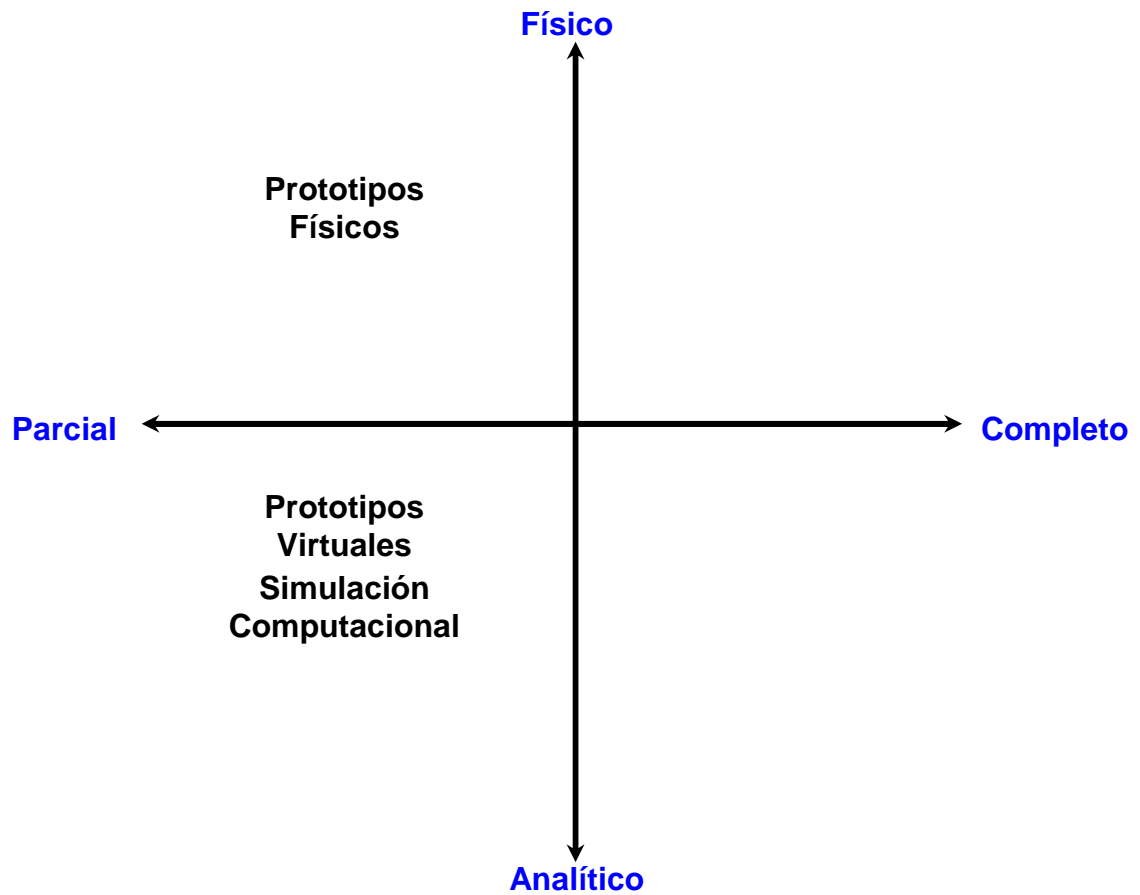
### **Dimensión 2: Completo Vs. Parcial**

**8.6.1.3 Prototipado completo.** Implementan la mayoría o todos los atributos del producto en toda su escala y funcionalidad. Estos se usan con el fin de detectar algún imperfecto que pueda presentar el producto antes de su producción.

**8.7.1.4 Prototipado Parcial.** Implementan uno o pocos atributos del producto para comprobar cómo funciona o cómo luce. Este tipo de prototipo permite verificar de manera independiente la funcionalidad de los subsistemas que va a tener el producto.

**8.7.2 Prototipos utilizados.** Los prototipos que se realizaron a lo largo del proceso de diseño y desarrollo seguido fueron de tipo: **Parcial – Físico y Parcial – Analítico**, los cuales se muestran en el siguiente grafico.

**Figura 46.** Clasificación de prototipos realizados



#### 8.7.2.1 Prototipos Físico – Parcial

**Prototipos físicos.** Estos prototipos se efectuaron para realizar pruebas de hardware en el sistema de control como demás elementos electrónicos de la máquina. Se hicieron montajes en protoboards para probar los siguientes subsistemas:

- Las señales de aviso generadas en el momento en que se llegara a dar una falla en el sistema como del funcionamiento normal de la máquina.
- La interfaz de usuario para comprobar las señales enviadas y recibidas tanto de la máquina como del usuario.

### 8.7.2.2 Prototipos Parcial – Analítico

- **Prototipos virtuales.** Los prototipos virtuales se realizaron utilizando herramientas computacionales del tipo CAD. Para ser más específicos, se usó el software Solid Edge V. 14, el cual permitió construir todas las piezas y elementos mecánicos que constituyen la máquina, para finalmente poder realizar el diseño a conjuntos de todo el sistema mecánico del dispositivo en este mismo software. Con la realización de este tipo de prototipos se pudo analizar las dimensiones del sistema, lográndose a la vez obtener una idea mucho más clara y definida de la conformación de la máquina y sus tolerancias permisibles.
- **Simulación computacional.** Con la simulación computacional se pudo predecir la funcionalidad del sistema especialmente la parte electrónica, como la unidad de control que conforma el sistema, en donde se logró analizar y deducir las consecuencias de eventos posibles que pudieran ocurrir en el sistema, las cuales no se pueden predecir mediante una prueba de escritorio. Para la realización de estos prototipos se usaron herramientas computacionales tales como: MpLab de Microchip, Eagle y Proteus.



## **9. DISEÑO DETALLADO**

En esta fase del proceso de diseño lo que se hace es determinar los métodos, formas y características definitivas que deben de tener cada elemento y/o componente que conforma todo el diseño teniéndose en cuenta las especificaciones y funcionalidad de este mismo.

Para el desarrollo de esta etapa al problema de diseño propuesto en este trabajo, se tratarán los siguientes subsistemas:

- Subsistema mecánico
- Subsistema eléctrico
- Subsistema electrónico

## 9.1 SUBSISTEMA MECÁNICO

En este subsistema se encuentra una determinada cantidad de elementos que conforman esta categoría, donde algunos de ellos son de gran importancia analizarse con detalle por ser elementos que desempeñan funciones claves y decisivas en la funcionalidad de esta parte de la máquina.

La importancia que tiene este componente en la funcionalidad de la máquina es grande, debido a que obviamente, este subsistema es la esencia de la máquina como tal, ya que desarrollando esta parte se lograría realizar la tarea principal de la máquina (tritución de la fruta), pero con la desventaja en que el diseño sería muy limitado por convertirse en una máquina netamente mecánica sin ningún grado de automaticidad, lo cual no sería muy óptimo para ninguna empresa en cuanto a consumo de energía y tiempo (nivel de producción) se refiere.

Con base a esto, el diseño del subsistema mecánico se efectuó teniéndose en cuenta diferentes consideraciones para el dimensionamiento de cada una de las piezas que lo componen; dichas consideraciones están ligadas al aspecto funcional de la máquina, la adaptabilidad al ambiente industrial y costo de manufactura, como también su facilidad de operación. Del listado de la **Tabla 26**, se seleccionaron los elementos que se consideran como fundamentales en cuanto a la conformación y funcionalidad de la máquina, siendo ellos los siguientes:

- Eje
- Cuchillas
- Tamiz
- Cuña
- Soporte y rodamientos
- Sellos mecánicos
- Acoplamiento

**9.1.1 Diseño del eje.** Este elemento es el encargado de transmitir el movimiento rotacional y el par motor proveniente del actuador eléctrico (motor) a las cuchillas, que son las encargadas de efectuar la acción de corte a las toronjas. El diseño de esta pieza se considera crítico, puesto que a la hora de diseñarse una flecha de transmisión, su diseño debe de ser confiable y seguro para soportar y resistir todas las variables mecánicas (cargas y momentos) que se generan sobre este tipo de elementos.

Debido a esto, el diseño de la flecha para esta máquina se debe de realizar teniéndose en cuenta los siguientes factores:

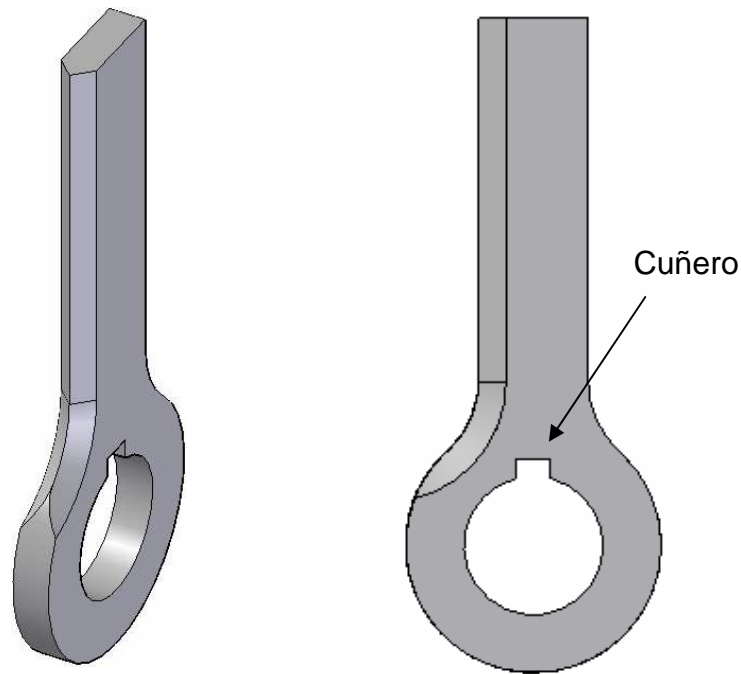
- El eje debe de ser capaz de soportar las cargas transversales que genera el peso de todas las cuchillas que están conectadas en su superficie radial. (resistencia a las cargas a flexión).
- El eje debe soportar el momento torsor que produce el par del motor sobre él (resistencia a la carga a torsión).
- La velocidad de operación de la flecha debe de estar por debajo de su primera velocidad crítica, con el fin de evitar que el sistema pueda entrar en resonancia ( $V_{operacion} = V_{critica}$ ) y por ende el sistema falle.
- El eje debe de ser capaz de superar las fuerzas contrarias que ejerce el material durante la operación de corte (viscosidad del material y fuerza de corte).
- Las flechas de transmisión se deben de diseñar contra fallas por fatiga.

Para llevar a cabo todos estos factores se debe de realizar primero un análisis de cargas con el fin de determinar los esfuerzos que se van a producir en el eje. Otra parte que también es importante examinar son las deflexiones que la flecha va a sufrir durante su operación al estar sujeto a cargas transversales. Por tanto, el diseño de esta pieza se va a empezar con analizar estas variables mecánicas.

**9.1.1.1 Carga del eje de transmisión.** La carga que va a soportar el eje va a estar dado por el peso de las 40 cuchillas que van a estar sujetas a él, más el peso de una columna de toronjas que está justo encima de las cuchillas (ver **Figura 48**), las cuales van saliendo por la boca de la tolva. Por tanto, el peso total que va a soportar el eje está dado por estos dos factores más otra fuerza de oposición que van a ejercer las toronjas que están dentro de la cámara de molienda, debido a la fuerza de corte. A continuación se explica la manera en como se determinó lo descrito.

- **Dimensiones de las cuchillas.** El peso de cada una de estas piezas, se determina conociendo sus respectivas dimensiones con el fin de obtener su volumen; a continuación se muestra el aspecto físico de este elemento.

**Figura 47.** Aspecto físico de una cuchilla de la máquina



El volumen de la pieza se determina con la ayuda del programa Solid Edge, el cual es capaz de calcularlo, obteniendo un valor de:

$$V_{pieza} = 56695,77mm^3$$

Con este volumen y la densidad del acero inoxidable (SAE 304 recocido en hojas), se determina la masa de la siguiente manera.

$$\rho_{acero\_inox} = 7,8 \times 10^{-6} \frac{Kg}{mm^3}$$

$$m_{pieza} = V_{pieza} \times \rho_{acero\_inox}$$

$$m_{pieza} = \left( 56695,77mm^3 \times 7,8 \times 10^{-6} \frac{Kg}{mm^3} \right)$$

$$m_{pieza} = 0,442Kg$$

Finalmente, para obtener el peso de una cuchilla el valor de la masa se multiplica con la fuerza de gravedad.

$$W_{pieza} = m_{pieza} \times g$$

$$W_{pieza} = 0,442 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{pieza} = 4,33 \text{ N}$$

El peso de las 40 cuchillas es entonces:

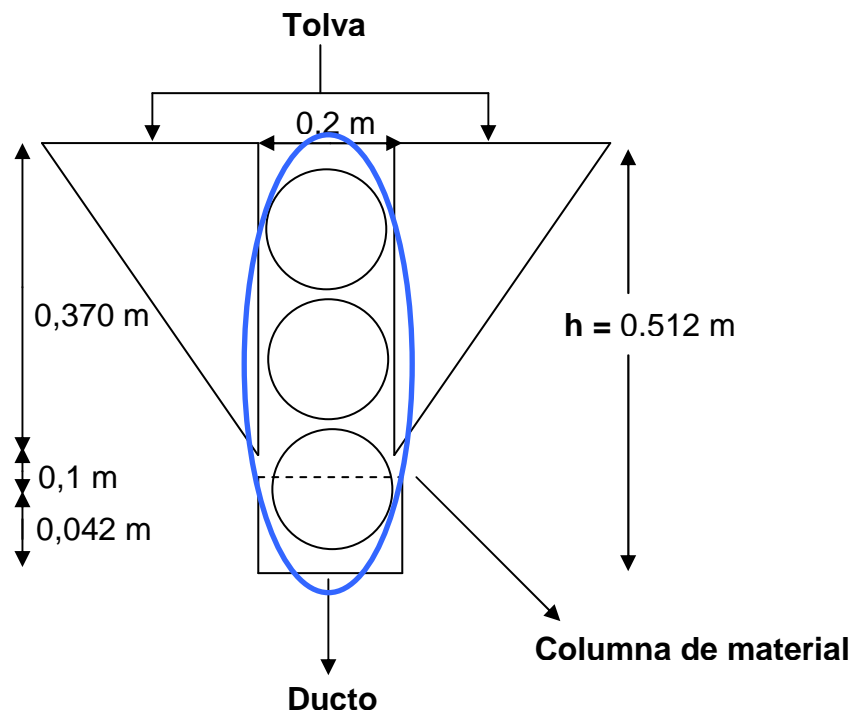
$$W_{cuchillas} = W_{pieza} \times 40$$

$$W_{cuchillas} = W_{pieza} \times 40 = 173,2 \text{ N}$$

$$W_{cuchillas} = 173,2 \text{ N}$$

El peso de la columna de toronjas que va a ejercer presión sobre algunas cuchillas y el eje, se determina en base a la siguiente figura.

**Figura 48.** Corte transversal de la tolva y el ducto para la salida del material



Como se puede apreciar en la **Figura 48**, una vez la tolva se carga con material (tolva llena), dentro de ésta se forma una columna de fuerza, la cual ejerce presión sobre el rotor de la máquina, por producto del peso de las toronjas que conforman dicha columna. La forma como se estimó el valor de este peso fue en base a la altura de esta columna más el diámetro promedio de una toronja ( $d = 0,15 \text{ m}$ ); el procedimiento que se llevó se explica a continuación:

Diámetro promedio de una toronja  $d = 0,15 \text{ m}$

Altura de la columna  $h = 0,512 \text{ m}$

Número de toronjas que pueden ocupar la altura de  $0,512 \text{ m}$

$$N_{TORONJAS} = \frac{h}{d_{TORONJA}} = \frac{0,512 \text{ m}}{0,15 \text{ m}} = 3 \text{ Toronjas}$$

Investigando se obtuvo la masa promedio de esta fruta la cual es de  $m = 0,45 \text{ Kg}$ , con esto entonces se calcula su peso promedio que es:

$$W_{TORONJA} = 0,45 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4,41 \text{ N}$$

$$W_{TORONJA} = 4,41 \text{ N}$$

Finalmente entonces el peso de tres toronjas es de:

$$W_{TORONJAS} = 4,41 \times 3 = 13,23 \text{ N}$$

$$W_{TORONJAS} = 13,23 \text{ N}$$

También se debe de tener en cuenta en la determinación de la carga que va a soportar el eje el peso del mismo, el cual se estima en base a su geometría y a los valores que entrega Solid Edge. El valor estimado fue de:

$$W_{fuerza} = 46 \text{ N}$$

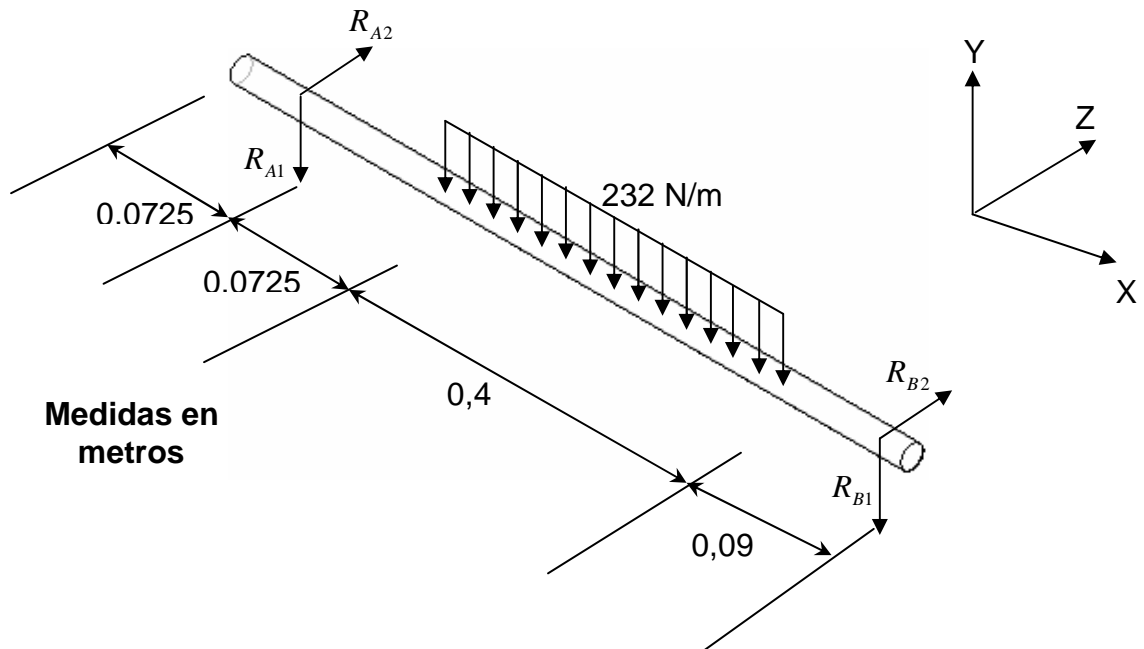
Con todo lo anterior se obtiene el valor resultante de esta fuerza, que es de:

$$W_{TOTAL} = W_{cuchillas} + W_{TORONJAS} + W_{fuerza} = 173,2 \text{ N} + 13,23 \text{ N} + 46 \text{ N} \cong 232 \text{ N}$$

$$W_{TOTAL} = 232 \text{ N}$$

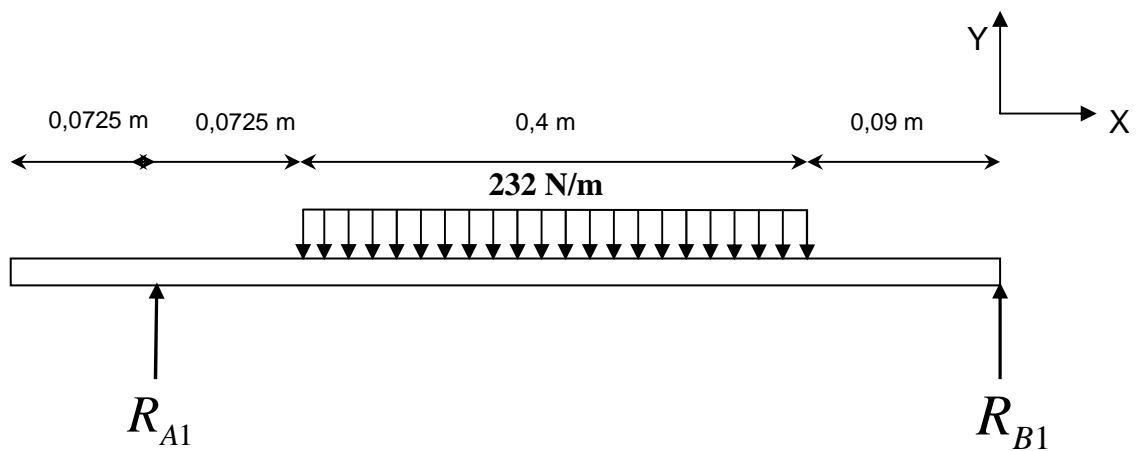
Conociendo la carga que va a soportar el eje, se procede a continuación a realizar los respectivos diagramas de cuerpo libre de este elemento, mostrándose las cargas que actúan sobre él; esto como se bosqueja a continuación.

**Figura 49.** Diagrama de cuerpo libre tridimensional para el eje



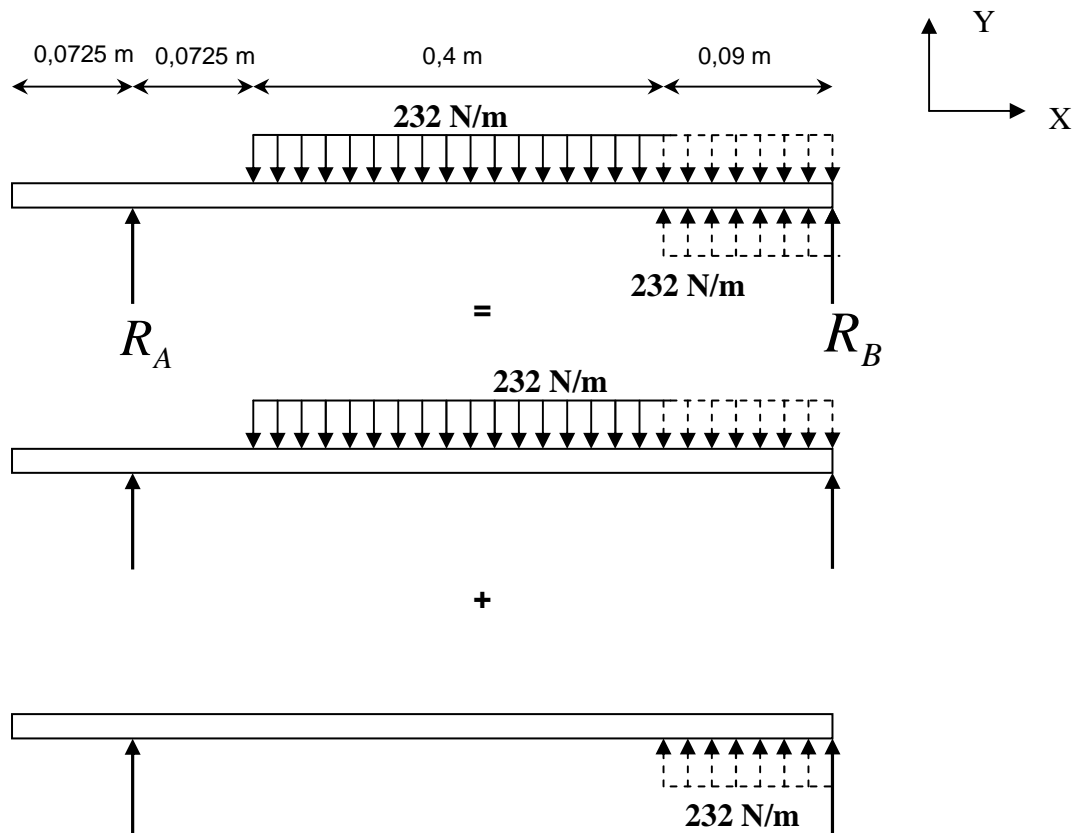
Para determinar el valor de las reacciones, se trabaja los planos XY y ZY, tal como se muestra a continuación.

**Figura 50.** Diagrama de cuerpo libre de la viga en el plano XY



Como se puede apreciar en la figura anterior, la carga que soporta el eje en este plano se considera distribuida (uniforme), la cual actúa en el espacio que alberga las 40 cuchillas. Para facilitar el análisis de fuerza de esta viga, se representa de una manera equivalente tal como se muestra a continuación.

**Figura 51.** Representación equivalente de cargas en la viga en el plano XY



La obtención de las respectivas funciones que gobiernan el comportamiento de la viga antes estas fuerzas, se realiza mediante funciones de singularidad, las cuales para esta viga resultante son:



### Función carga

$$q_{(x)} = R_1(X - 0,0725)^{-1} - 232(X - 0,145)^0 + 232(X - 0,545)^0 + R_2(X - 0,635)^{-1}$$

### Función fuerza cortante

$$V_{(x)} = \int q_{(x)} d_x =$$

$$R_1(X - 0,0725)^0 - 232(X - 0,145)^1 + 232(X - 0,545)^1 + R_2(X - 0,635)^0 + C_1$$

### Función momento flexionante

$$M_{(x)} = \int V_{(x)} d_x =$$

$$= R_1(X - 0,0725)^1 - 116(X - 0,145)^2 + 116(X - 0,545)^2 + R_2(X - 0,635)^1 + C_1X + C_2$$

### Función de pendiente

$$\theta_{(x)} = \int M_{(x)} d_x =$$

$$= \frac{1}{EI} \left( \frac{R_1}{2}(X - 0,0725)^2 - 38,67(X - 0,145)^3 + 38,67(X - 0,545)^3 + \frac{R_2}{2}(X - 0,635)^2 + \frac{C_1}{2}X^2 + C_2X + C_3 \right)$$

### Función de deflexión

$$Y_{(x)} = \int \theta_{(x)} d_x =$$

$$\frac{1}{EI} \left( \frac{R_1}{6}(X - 0,0725)^3 - 9,67(X - 0,145)^4 + 9,67(X - 0,545)^4 + \frac{R_2}{6}(X - 0,635)^3 + \frac{C_1}{6}X^3 + \frac{C_2}{2}X^2 + C_3X + C_4 \right)$$

Evaluándose estas funciones con unos parámetros iniciales o de frontera resulta.

$$q_{(x)} = 47,84(X - 0,0725)^{-1} + 44,96(X - 0,635)^{-1}$$

$$V_{(x)} = 232(X - 0,545) - 232(X - 0,145) + 92,8$$

$$M_{(x)} = 47,84(X - 0,0725) - 116(X - 0,145)^2 + 116(X - 0,545)^2 + 44,96(X - 0,635)$$

$$\theta_{(x)} = \frac{1}{EI} (2392(X - 0,0725)^2 - 3867(X - 0,145)^3 + 3867(X - 0,545)^3 + 2248(X - 0,635)^2 - 3,04)$$

$$Y_{(x)} = \frac{1}{EI} (7,97(X - 0,0725)^3 - 9,67(X - 0,145)^4 + 9,67(X - 0,545)^4 + 7,49(X - 0,635)^3 - 3,04X + 1,07)$$

Para las funciones  $\theta$  y  $Y$  se tienen los términos  $E$  y  $I$ , los cuales son el módulo de elasticidad de material ( $E_{ACERO\_INOX} = 189,6 \text{ GPa}$ ) y el momento de inercia de la sección transversal del eje ( $I = 0,103 \text{ m}^4$ ).

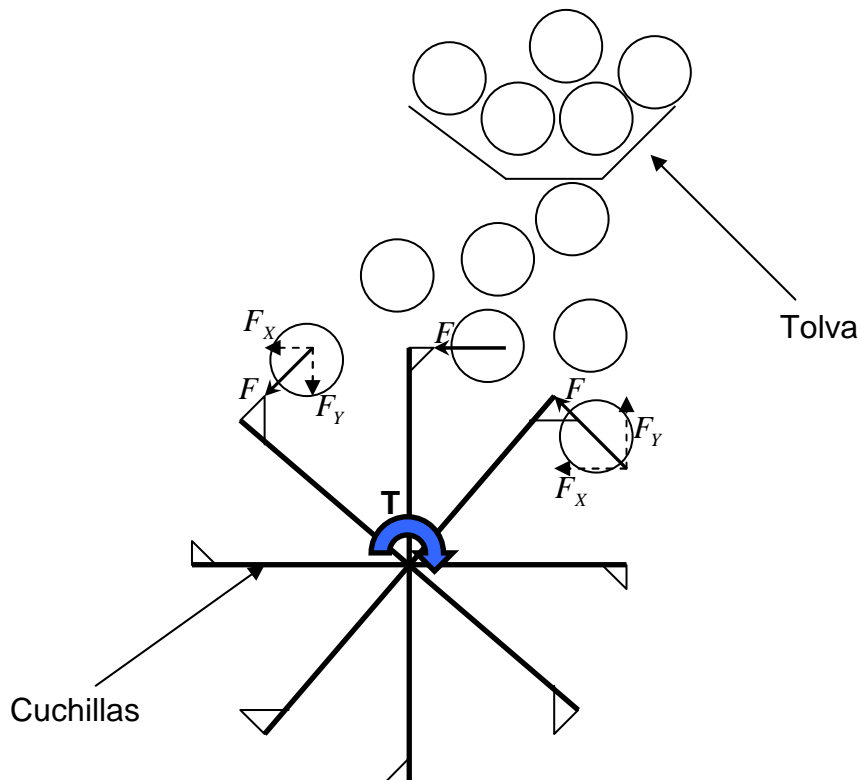
Trabajando las funciones de carga y momento para el plano XY, se obtienen los siguientes valores:

$$R_{A1} = 44,96 \text{ N} \quad \text{y} \quad R_{B1} = 47,84 \text{ N}$$

Ahora se procede a hallar los valores de carga en el plano ZX, pero antes de mostrar esta distribución, se debe de comprender la fuerza que realiza el material que va entrando a la cámara de molienda sobre las cuchillas en el momento que el rotor está girando, ya que esta fuerza es la que se refleja en este plano.

Una vez el material entra en contacto con la cuchilla para llevarse a cabo la operación de corte, la fruta va a ejercer sobre esta pieza una fuerza de oposición para impedir que sea cortada. Esta situación se muestra en el siguiente esquema.

**Figura 52.** Fuerza de oposición que ejerce la fruta sobre el rotor

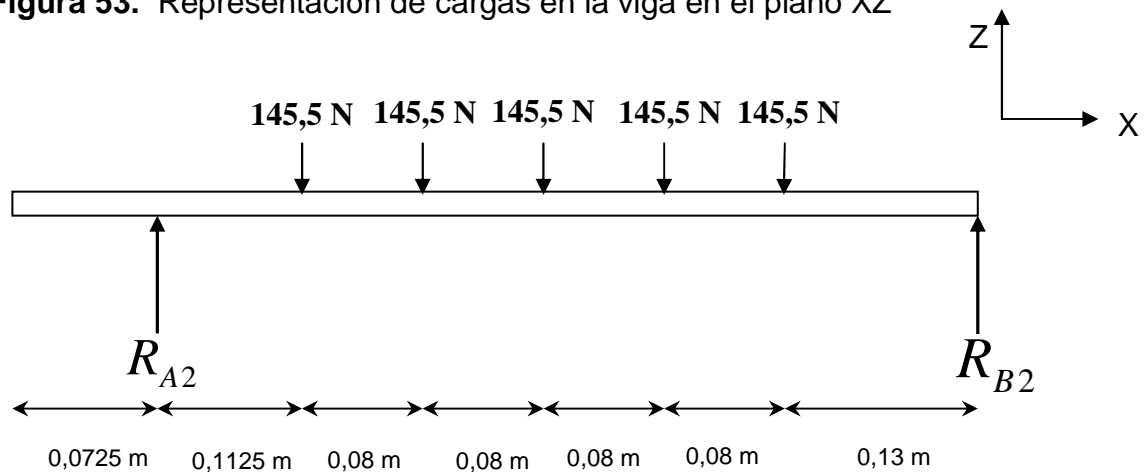


Las componentes en la dirección X son las de interés; por tanto, se determina el valor de esta componente, tomando a F como la fuerza requerida para cortar una toronja, la cual se calculó experimentalmente, siendo un peso de 7kgf (68,6N), necesario para realizar el corte; con esto entonces se calcula la componente en X de esta fuerza.

$$F_x = F \cos 45^\circ \quad F_x = 68,6 \cos 45^\circ \quad \boxed{F_x = 48,5 \text{ N}}$$

Esta fuerza se considera que actúa en cada vuelta que realizan las cuchillas en el eje (1 vuelta = 8 cuchillas), en tan solo tres cuchillas de las 8 que conforman el giro completo, lo que significa que para cada vuelta habrá una fuerza resultante en el eje X de tres veces esta componente es decir 145,5 N. con esto entonces se concluye que habrá un total de 5 de estas fuerzas las cuales actúan sobre las cuchillas, lo que equivalente a que actuarán de manera directa en el eje, por lo tanto con base a esta consideración la distribución de cargas en este plano quedaría como se muestra a continuación.

**Figura 53.** Representación de cargas en la viga en el plano XZ



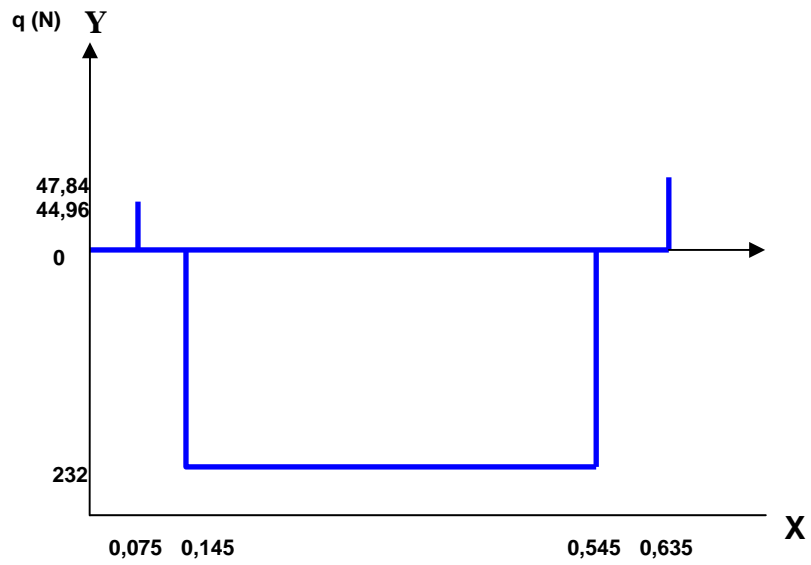
Trabajando de nuevo las funciones de carga y de momento para el plano XZ, se obtiene los siguientes valores para las reacciones restantes:

$$\boxed{R_{A2} = 344,8 \text{ N}} \quad \text{y} \quad \boxed{R_{B2} = 382,7 \text{ N}}$$

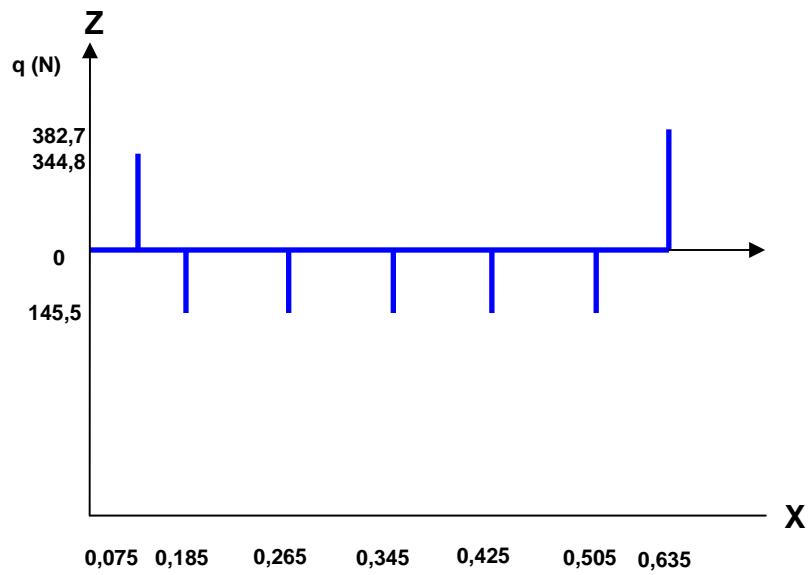
Conociéndose ya los valores de todas las reacciones, se procede a realizar los diagramas de carga, cortante y momento flexionante para los planos que se analizaron, es decir los planos XY y XZ.

**Figura 54.** Diagrama de cargas en plano XY y XZ

Plano XY



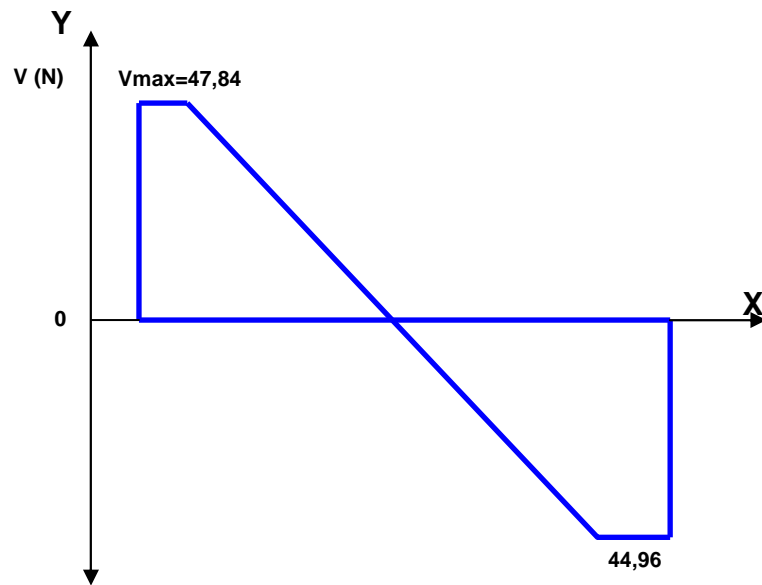
Plano XZ



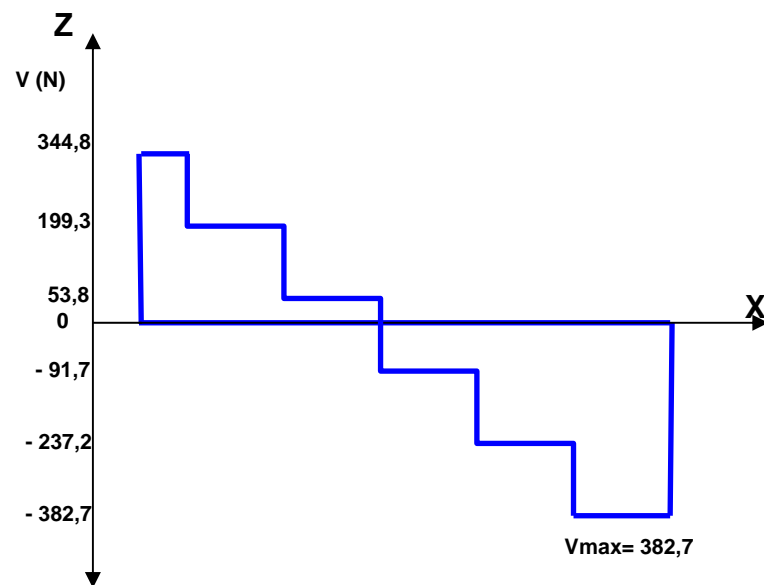
Los planos de fuerza cortante para estos mismos planos son:

**Figura 55.** Diagrama de cortantes en plano XY y XZ

Plano XY



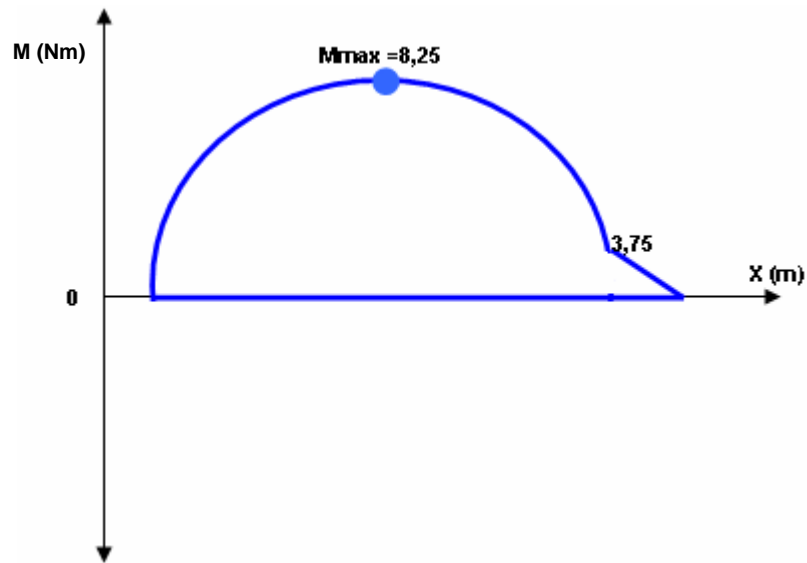
Plano XZ



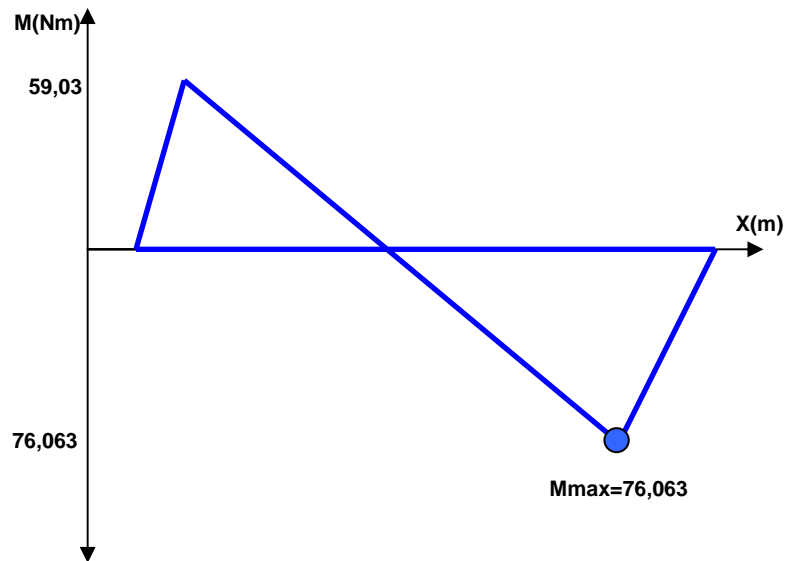
Los gráficos de momento flector se obtienen de la misma manera de cómo se obtuvieron los gráficos anteriores, donde para determinar el momento flector máximo de la viga en cada plano se parte del gráfico de cortantes. Conociendo el hecho de que el momento máximo ocurre cuando el cortante es cero, por tanto se iguala a cero la función de fuerza cortante y se resuelve para  $M$  obteniéndose.

**Figura 56.** Diagrama de momentos

Plano XY



Plano XZ



Con estos seis gráficos anteriores (**Figuras 54 a 56**), se obtienen los valores más grandes o críticos de carga, cortante y momento respectivamente, los cuales se toman ahora para obtener la magnitud o valor resultante de cada uno de estos, para así poder entonces calcular los esfuerzos máximos que se generan por la carga flexión en esta flecha. Los valores críticos que se obtuvieron de acuerdo a estos diagramas son:

Plano XY

$$V_{MAX} = 47,84N$$

$$M_{MAX} = 8,25N$$

Plano XZ

$$V_{MAX} = 382,7N$$

$$M_{MAX} = 76,063N$$

Magnitud máxima de la función de fuerza cortante:

$$V_{RESUL\_MAX} = \sqrt{(V_{XY\_MAX})^2 + (V_{ZX\_MAX})^2}$$

$$V_{RESUL\_MAX} = \sqrt{(47,84)^2 + (382,7)^2}$$

$$V_{RESUL\_MAX} = 385,6N$$

Magnitud máxima de la función de momento flector:

$$M_{RESUL\_MAX} = \sqrt{(M_{XY\_MAX})^2 + (M_{ZX\_MAX})^2}$$

$$M_{RESUL\_MAX} = \sqrt{(8,25)^2 + (76,063)^2}$$

$$M_{RESUL\_MAX} = 76,51Nm$$

**9.1.1.2 Determinación del torque demandado por la máquina.** La manera en cómo se obtuvo el valor del torque que el molino como tal demanda para poder ser movido por el motor, fue de manera experimental, ya que se obtuvo asesoría de personas expertas en diseño y fabricación de máquinas, las cuales recomendaron una manera empírica para predecir este valor, asegurando que el dato que se obtiene es bastante confiable. Este experimento consistió (como se explicó anteriormente), en calcular la fuerza necesaria para cortar una toronja con un cuchillo de un filo moderado, donde se obtuvo una fuerza mínima de 7 Kgf (68,6 N) para cortar dicha fruta, donde en base a este valor se calculó el momento torsor que se produjo en este corte, con tan solo multiplicar el valor de la fuerza por el brazo del cuchillo, el cual se dejó a una distancia de 0,1m, valor aproximado a la longitud de las cuchillas que tiene el rotor de la máquina. El valor obtenido en este análisis fue de:

$$F = 68,6 \text{ N}$$

$$L = 0,1 \text{ m}$$

La fuerza que se aplicó para efectuar este corte se considera de tipo distribuida, por tanto el valor de este torque es

$$T_{1\_CUCHILLA} = LF = 0.1 \times 68,6 \times \frac{68,6}{2} = 0,343 Nm$$

$$T_{1\_CUCHILLA} = 0,343 Nm$$

Este torque es el que se genera por la acción de una sola cuchilla, donde para obtener el torque resultante del rotor, este valor se multiplica por el numero de cuchillas que contiene este elemento. Cabe aclarar que el valor obtenido para este torque es muy conservador debido a que se está suponiendo que todas las cuchillas del rotor van a trabajar al mismo tiempo, lo cual no es cierto, debido a la forma como estos elementos están distribuidos en el eje, lo que hace que unas cuantas cuchillas entren en acción en un determinado tiempo, mientras las restantes no lo hacen y viceversa, además que también se está suponiendo que la cámara de molienda siempre va a estar llena.

Por tanto el valor que se obtiene para este torque es:

$$T_{TOTAL} = T_{1\_CUCHILLA} \times N^{\circ} \text{ CUCHILLAS}$$

$$T_{TOTAL} = 0,343 \times 40 = 13,72 Nm$$

$$T_{TOTAL} = 13,72 Nm$$



Conocido ya el torque demandado por el rotor, se puede obtener el torque que debe de tener el motor eléctrico de la máquina, el cual obviamente debe de superior a este valor, para garantizar que sea capaz de mover este conjunto. (Este proceso de selección se explica detalladamente en el análisis del subsistema eléctrico de esta etapa de diseño detallado). A continuación se procede a calcular el diámetro de la flecha.

**9.1.1.3 Determinación del diámetro del eje.** El cálculo del diámetro de un eje se realiza teniendo en cuenta las consideraciones explicadas anteriormente en cuanto a los tipos de cargas que esta pieza deberá de soportar. Sabiendo que el eje de transmisión va a estar sujeto tanto a cargas a flexión como a torsión por el par transmitido por el motor, este diámetro se calcula mediante la formula de la norma ANSI/ASME B106.1M, la cual se utiliza para el diseño de flechas sujetas para estos tipos de carga. Esta formula se define como:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \left( K_f \frac{M_{MAX}}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T_M}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Donde

- $N_f$  Factor de seguridad
- $S_y$  Resistencia máxima a la tensión del material
- $S_f$  Resistencia a la fatiga corregida del material
- $K_f$  Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga por flexión alternante
- $M_{MAX}$  Momento máximo alternante
- $T_M$  Par torsor transmitido por el motor

Para resolver esta fórmula, se debe primero determinar el factor de concentración de esfuerzos, ya que este valor se desconoce. Este factor de concentración de esfuerzos se define como:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Donde

- $q$  Sensibilidad a la muescas del material
- $K_t$  Factor de concentración de esfuerzos

El valor  $q$  se obtiene en base a la siguiente expresión:

$$q = \frac{1}{1 + \left( \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}} \right)}$$

Donde

$\sqrt{a}$  Es una constante llamada constante de Neuber (obtenida por tabla)  
 $r$  Radio de la muesca

El valor de  $\sqrt{a}$  se obtiene a partir de una tabla de constantes de Neuber para los aceros (**ver Apéndice F**), donde para nuestro caso, la tabla nos dice que el valor de esta constante debe de ser:

$$\sqrt{a} = 0,075 \text{ in} = 1,905 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Para el radio de la muesca se debe de procurar que este sea lo mas pequeño posibles, por tal motivo se supone un  $r = 4,75 \times 10^{-3} \text{ m}$

Con estos dos datos se obtiene la sensibilidad de muescas  $q$ , el cual nos da un valor de:

$$q = \frac{1}{1 + \left( \frac{1,905 \times 10^{-3}}{\sqrt{4,75 \times 10^{-3}}} \right)}$$

$$q = 0.0973$$

Ahora se pasa a obtener el valor de  $K_t$ , el cual se obtiene de la siguiente formula:

$$K_t = A \left( \frac{r}{d} \right)^b = 0,84897 \left( \frac{4,75 \times 10^{-3} \text{ m}}{0,0286 \text{ m}} \right)^{-0.23161}$$

$$K_t = 1,287$$

Conocidos  $q$  y  $K_t$  se puede ahora calcular el factor de concentración de esfuerzos.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.973(1,287 - 1) = 1,27$$

$$K_f = 1,27$$

El paso a seguir es el de seleccionar el material con el cual se debe de diseñar el eje, para así obtener la resistencia elástica  $S_y$ , la resistencia última del material  $S_{ut}$  y la resistencia a la fatiga (sin corregir)  $S_f$ . Para este caso, el material con que se debe de diseñar el eje será de acero inoxidable, ya que esta pieza va a estar siempre en contacto directo con el material a procesar y además es el material que se acostumbra a usar en este tipo de dispositivos. La referencia del material con que se trabaja es **SAE304** recocido en hojas, el cual posee un  $S_{ut} = 85\text{kpsi} = 586\text{Mpa}$ . Con este valor se procede a calcular el valor de la resistencia corregida de acuerdo a la ecuación:

$$S_{f'} = 0,5S_{ut} \quad \text{Donde para este acero el } S_{ut} = 586 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$S_{f'} = 0,5 \times 586 \times 10^6$$

$$S_{f'} = 293 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Este valor debe de reducirse aplicando varios factores, a fin de obtener un valor confiable para el cálculo y diseño del diámetro. Estos factores son:

$$S_f = C_{carga} C_{tamaño} C_{superficie} C_{temperatura} C_{confiabilidad} S_{f'}$$

Como la carga que va a soportar el eje es a flexión y a torsión  $C_{carga} = 1$  (recomendado)

- Para el tamaño del eje, se le da un valor de 0,5, por tanto  $C_{tamaño} = 0,5$
- Para efectos superficiales se considera  $C_{superficie} = 0,75$ , debido a que el acabado del eje será un acabado fino y pulido.
- El factor de temperatura se escoge un valor de 0,8 ya que se considera que la temperatura de trabajo no será tan elevada, por tanto  $C_{temperatura} = 0,8$ .
- El grado de confiabilidad del sistema debe de ser alto por tal motivo  $C_{confiabilidad} = 0,8$ .

Con estos factores, se calcula la resistencia a la fatiga corregida.

$$S_f = (1)(0,5)(0,75)(0,8)(293 \times 10^6)$$

$$S_f = 7032 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Lo último que queda por determinar, es el factor de seguridad que se le va a dar al diseño, el cual se decide trabajarlo con un valor de 3, valor que se considera confiable para ponderar las incertidumbres del diseño, entonces  $N_f = 3$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación del diámetro se obtiene:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \left( K_f \frac{M_{MAX}}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T_M}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

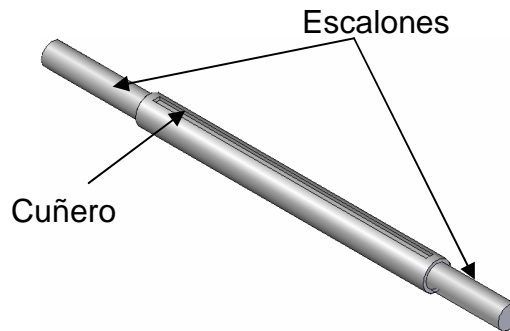
$$d = \left\{ \frac{32(3)}{\pi} \left[ \left( (1,27) \frac{76,51}{7032 \times 10^4} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{47,081}{241 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = \boxed{3,49 \text{ cm} \approx 1,37 \text{ pulg}}$$

Este valor se ajusta a una medida comercial, con el fin de lograr abaratar los costos que implica la parte de producción y manufactura de la misma. Por tanto, este diámetro se sube a un valor de **3,81 cm (pulgada y media)**, el cual es el valor mayor más próximo para esta medida y además que esta medida es comercial para ejes de transmisión.

Como se pudo ver en esta fórmula, el valor del torque con que se trabajó fue de **47,081 Nm**, el cual corresponde al valor del torque máximo que puede transmitir el motor de la máquina (ver **APÉNDICE I**).

Ya definido el diámetro que debe de tener el eje, el cual garantiza el adecuado funcionamiento del rotor de la máquina, el paso a seguir en esta pieza es pensar la manera de ajustar y poder acoplar su diámetro con el conjunto de soporte-chumacera, que son los elementos encargados de soportar el peso de todo el rotor. Por tal motivo, se decidió que el diseño de este eje va a tener dos escalones los cuales van a ser de un diámetro un poco menor al diámetro que tendrá los rodamientos que se seleccionarán en la máquina con el fin de que estos se puedan conectar fácilmente en el eje. El diseño final de este eje se muestra en la figura siguiente:

**Figura 57.** Diseño final del eje



Para estos escalones se debe de procurar que la relación de diámetros

$$\left( \frac{d_{\text{exterior}}}{d_{\text{interior}}} \approx 1 \right)$$

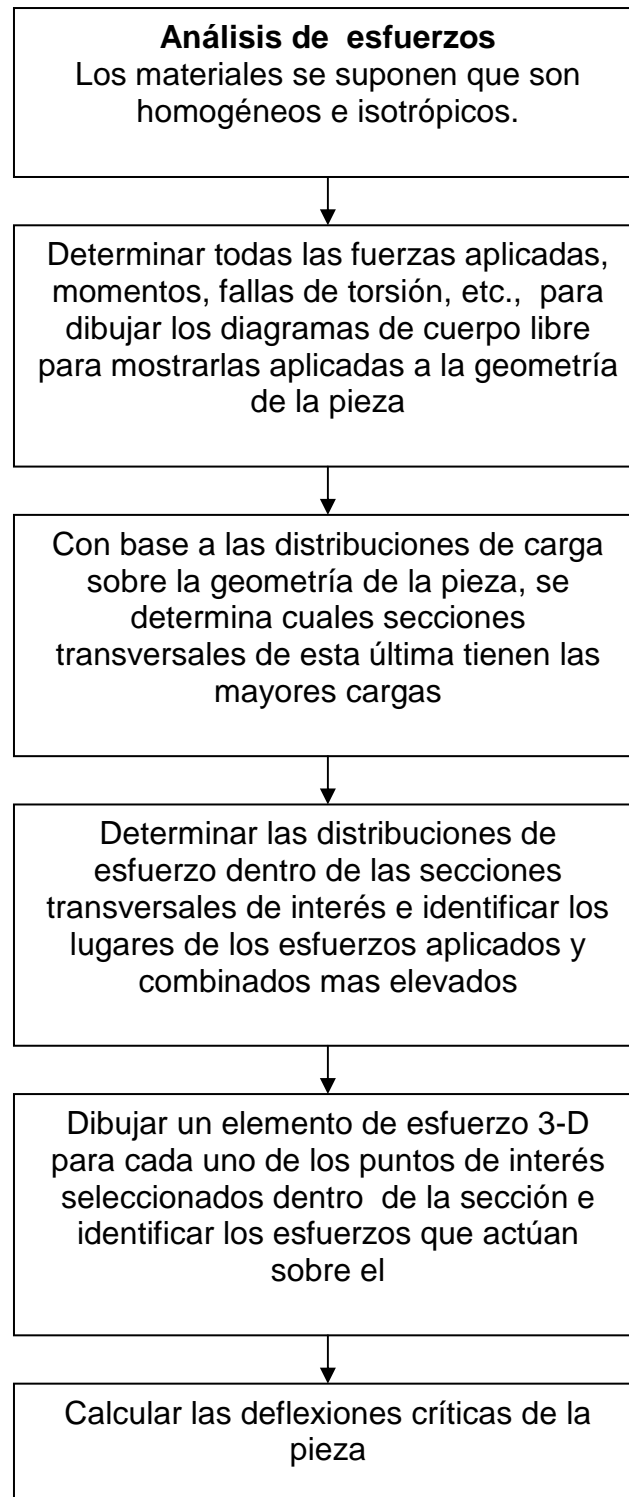
Para así evitar que se generen concentradores de esfuerzos de elevada magnitud en el sistema; por tal motivo se determina para estos dos escalones, un diámetro de **pulgada y tres octavos** (aprox. 3,5cm) cuyo valor es comercial para chumaceras y rodamientos.

**9.1.1.4 Análisis de esfuerzos.** Conocida ya la geometría del eje se procede a calcular el valor de los esfuerzos máximos que se generan en este elemento. Sabiéndose que los esfuerzos que se producen en cualquier eje de transmisión son de dos tipos los cuales son:

- Esfuerzos de flexión
  - Esfuerzos de torsión
- 
- **Esfuerzos de flexión.** Este tipo de esfuerzos se producen por la acción de las cargas transversales que va a soportar la flecha; para este caso la carga transversal la va a generar el peso de todas las cuchillas que este va a soportar, junto a una columna de material que va a ejercer presión sobre las cuchillas. Estos esfuerzos se conocen como esfuerzos normales debido a que actúan de forma perpendicular a la sección de corte.

- **b) Esfuerzos de torsión.** Los esfuerzos de torsión son los que resultan de la acción del par de torsión que se le transmite al eje. Estos esfuerzos son llamados esfuerzos cortantes, ya que estos esfuerzos actúan de forma paralela a la sección de corte. El análisis de esfuerzos se lleva a cabo comprendiendo cómo se distribuye estos esfuerzos en la pieza, a fin de escoger las localizaciones apropiadas para el cálculo de los esfuerzos máximos. A continuación se muestra un diagrama en el cual se muestra los pasos que se deben de seguir para realizar un análisis de esfuerzos.

**Figura 58.** Diagrama de flujo para análisis de esfuerzo estático



- **Cálculo de los esfuerzos flectores en el eje:**

Esfuerzo normal máximo bajo este tipo de carga se define:

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_{RESILT\ MAX} C}{I}$$

Donde  $I$  es el momento de inercia del la sección transversal de un círculo, y  $C$  es el radio de la flecha. El momento de inercia para una flecha circular se define como:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi(0,0381)^4}{64} = 1,03 \times 10^{-7} m^4$$

Resolviendo se obtiene

$$\sigma_{MAX} = \frac{76,51 \times 0,01905}{1,03 \times 10^{-7}} = 14,07 Pa$$

El esfuerzo cortante máximo se determina por la siguiente expresión:

$$\tau_{flexion} = \frac{4V_{MAX}}{3A}$$

Donde  $A$  es el área de la sección transversal del eje y  $V$  es la magnitud de la fuerza cortante máxima. Resolviendo se obtiene

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0,0381)^2}{4} = 1,14 \times 10^{-3} m$$

$$\tau_{flexion} = \frac{4V_{RESUL\_MAX}}{3A}$$

$$\tau_{flexion} = \frac{4(385,6)}{3(1,14 \times 10^{-3})} = 451 Pa$$



- **Cálculo de los esfuerzos torsores en el eje.** Los esfuerzos que se producen en el eje bajo la carga torsora que ejerce el motor son de tipo cortante, donde el esfuerzo máximo que se genera en este elemento esta definido como:

$$\tau_{torsion} = \frac{Tr}{J} \quad ; \quad J = \frac{\pi d^4}{32}$$

Donde  $T$  es el par del motor,  $r$  es el radio del eje,  $J$  es el momento polar de inercia de la sección transversal y  $d$  el diámetro del eje, resolviendo para  $J$  y luego para  $\tau_{torsion}$  se obtiene:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi (0,0381m)^4}{32} = 2,068 \times 10^{-7} m^4$$

$$\tau_{torsion} = \frac{Tr}{J} = \frac{(20,47 Nm)(0,01905 m)}{2,068 \times 10^{-7} m^4} = 18,85 KPa$$

El esfuerzo cortante total que se genera en el eje, es la suma del esfuerzo cortante a flexión y el esfuerzo cortante a torsión.

$$\tau_{TOTAL} = \tau_{flexion} + \tau_{torsion} = 4,51 Pa + 18850 Pa = 18854,5 Pa$$

- **Deflexión máxima en el eje.** La deflexión máxima que va a experimentar el eje se determina mediante las funciones de pendiente y de deflexión. El punto donde ocurre esta deflexión es donde el valor de la función de pendiente se hace cero, y por lo tanto se obtiene el valor de  $X$  que hace que la función pendiente valga cero donde se obtiene:

$$X = 0,191m$$

Este valor se evalúa en la función de deflexión ( $Y(x)$ ) obteniéndose el siguiente valor.

$$Y_{MAX} = -5,92 \times 10^{-7} m$$

Como se puede observar, el valor de esta deflexión es muy pequeño, lo cual garantiza que el eje no se va a pandear mucho, lo que garantiza que la mayor parte de la energía que le entra al proceso se va a convertir en trabajo. En cuanto al signo negativo del resultado, indica hacia qué dirección ocurre la deflexión de este eje.

**9.1.1.5 Velocidad crítica del eje.** Toda flecha que transmita movimiento a un determinado número de elementos, debe de operar a una velocidad inferior a su primera velocidad crítica, ya que de lo contrario (cuando la velocidad de operación = velocidad crítica), el sistema se vuelve inestable, perjudicando a los elementos interconectados en el sistema al acortarles su periodo de vida útil (como es el caso de los rodamientos y chumaceras).

Normalmente, la estrategia que se acostumbra hacer en el diseño de ejes de transmisión es mantener las velocidades de operación o de trabajo muy por debajo de la primera velocidad crítica, con el fin de garantizar que el sistema sea seguro y eficiente, donde esta relación se debe procurar que sea al menos igual o mayor a 4 veces.

El cálculo de la velocidad crítica o de resonancia de un sistema de transmisión se lleva a cabo determinando las deflexiones que causan los elementos que están sujetos al eje, junto con el peso de cada uno de estos elementos. La formula que permite obtener este valor se conoce como la formula de **Rayleigh** la cual se define como:

$$\omega_n = \sqrt{g \frac{\sum_{i=1}^n W_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n W_i \delta_i^2}}$$

Donde:

$\delta$  Deflexión que causada por el elemento  
 $W$  Peso del elemento  
 $g$  Fuerza de gravedad

Para el caso de la flecha de la máquina, ésta tendrá que soportar el peso de todas las cuchillas, por lo que estos elementos serán los únicos que van a causar la deflexión en esta pieza (el valor de esta deflexión se calculó anteriormente  $Y_{MAX} = -5,92 \times 10^{-7} \text{ m}$ ). En base a este dato junto con el peso de las 40 cuchillas, se determina esta velocidad aplicando la formula.

$$\omega_n = \sqrt{g \frac{\sum_{i=1}^n W_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n W_i \delta_i^2}} = \sqrt{9,8 \frac{(232)(5,92 \times 10^{-7})}{(232)(5,92 \times 10^{-7})^2}}$$

$\omega_n = 40,68 \text{ Rad/seg } 38852,9 \text{ r.p.m}$
---

Ahora, este valor se compara con la velocidad de operación de la flecha, la cual es de 1800 r.p.m, para obtener el margen de diferencia entre estos dos datos.

$$\frac{\omega_n}{\omega_f} = \frac{38852,9 \text{ r.p.m}}{1800 \text{ r.p.m}} = 21,5$$

Como se puede observar la relación de velocidades es mayor a 4, lo cual garantiza un buen funcionamiento del sistema.

**9.1.2 Cuchillas.** Las cuchillas, como se explicó anteriormente, son los elementos encargados de realizar la acción de corte sobre el material a procesar. En la etapa de desarrollo conceptual de este proceso, para ser más específicos en la fase de generación de conceptos (búsqueda externa), se comprendió la manera de seleccionar el canto de las cuchillas más adecuado de acuerdo a la naturaleza del material que se pretende cortar, entendiéndose que para materiales duros se recomendaba utilizar cuchillas de canto plano de impacto, para lograr que el material fuera destrozado de manera agresiva mientras que, para materiales blandos la mejor elección son las cuchillas de canto filoso, las cuales logran que el material sea cortado de forma suave.

Es por eso que para el diseño de las cuchillas de la máquina propuesta en este trabajo, estas deben de ser de cantos filosos, ya que la toronja es un fruto de naturaleza blanda. Las consideraciones a tenerse en cuenta en su diseño son las siguientes:

- El material debe de ser de acero inoxidable.
- Los cantos de las cuchillas como se dijo hace un momento deberán de ser filosos. Su diseño debe de ser robusto, para así garantizar que estas piezas puedan soportar las cargas de reacción que actúan sobre estas mismas.

**9.1.3 Tamiz.** Como se dijo anteriormente el tamiz es la pieza o elemento encargado de regular el tamaño del producto que se obtiene al final del proceso de molienda, considerándose como uno de los elementos de mayor importancia en el sistema mecánico de este tipo de maquinas. Por lo que se requiere de mucho cuidado y atención su conformación y diseño. Las consideraciones y factores fundamentales que se deben de tener en cuenta a la hora de diseñarse este tipo de elementos se muestran a continuación:

- El material con que se debe de diseñar indiscutiblemente debe de ser de acero inoxidable, por ser este, un elemento que va a estar en contacto directo con la fruta para de esta forma prever cualquier contaminación del producto (normas de sanidad).
- El diámetro de los agujeros de estos elementos son los que determinan la granulometría del producto obtenido.
- Con el fin de prever algún tipo de aglomeración o atascamiento en el tamiz por parte del material, el tamiz debe de diseñarse con la mayor cantidad de agujeros posibles en toda su superficie, con el fin de brindarle al material procesado mayor vías de salida.

Tanto las cuchillas durante su operación como el material contenido en la cámara de molienda, van a ejercer presiones sobre las superficie de la criba, por lo cual el diseño de esta pieza deberá de poseer un alto grado de rigidez y/o robustez.

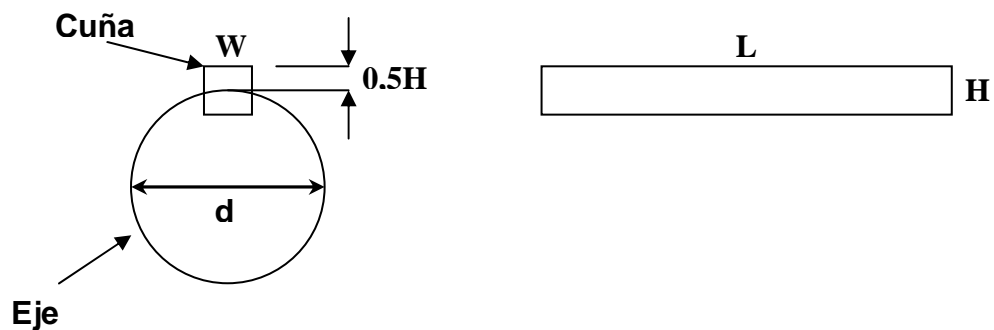
**9.1.4 Selección de la cuña.** La cuña es una pieza de maquinaria desmontable, la cual al ensamblarse en un cuñero, proporciona un medio positivo de transmisión de par de torsión entre flecha y masa. Este subsistema cuenta con una cuña, la cual es la que ayuda a realizar el acople entre el eje y las cuchillas, siendo también el elemento encargado de proteger al sistema en caso que este llegue a fallar, además que este tipo de elementos ofrecen facilidad de reparación y desarmado a todo el conjunto. La cuña del sistema es de tipo paralela, ya que este tipo de cuñas son las de uso más común. El estándar ANSI define los tamaños de la sección transversal de estos elementos en función del diámetro de la flecha, donde para la escogencia de la cuña indicada, se recurre a la siguiente tabla.

**Tabla 30.** Tamaños de cuñas para flechas de tamaño en pulgadas

<b>Diámetro de la flecha(in)</b>	<b>Ancho nominal de la cuña (in)</b>
0,312<d<0,437	0,093
0,437<d<0,562	0,125
0,562<d<0,875	0,187
0,875<d<1,250	0,250
1,250<d<1,375	0,312
1,375<d<1,750	0,375
1,750<d<2,250	0,500
2,250<d<2,750	0,625
2,750<d<3,250	0,750
3,250<d<3,750	0,875
3,750<d<4,500	1,000
4,500<d<5,500	1,250
5,500<d<6,500	1,500

En base a la tabla anterior, para un eje de 1,5 pulgadas de diámetro, el ancho nominal de la cuña debe de ser de 0,375 pulgadas o 95,25 cm. Por lo tanto, este valor será el ancho de la cuña para el eje.

**Figura 59.** Ubicación de la cuña en el eje



La longitud de la cuña queda determinada por el espacio que va a ocupar las cuchillas, el cual es de 40 cm.

**9.1.5 Selección de soporte y rodamientos.** Para brindarle el adecuado grado sujeción al rotor del molino, se deben de usar dos conjuntos: rodamiento-chumacera, los cuales son elementos que se usan para realizar esta función. A continuación se realizará la escogencia adecuada de éstos, para determinar el tipo de rodamiento y chumacera apropiados para utilizar en el sistema. Esta selección se llevará a cabo usando el catalogo de la **NSK** que es una empresa que fabrica este tipo de elementos.

En esta aplicación no existen fuerzas axiales, debido a que tanto el giro como el movimiento que realiza el rotor de la máquina eliminan automáticamente todas las componentes que resultan de este tipo de fuerzas. Por lo tanto, en la escogencia de estos conjuntos solamente se tendrán en cuenta las fuerzas radiales resultantes.

De acuerdo a los cálculos que se llevaron a cabo en el diseño del eje, se obtuvo un diámetro de 3,5 cm (diámetro de los escalones) y de los diagramas de carga se obtuvieron las componentes de la fuerza radial presentes en cada punto de apoyo, estas componentes son:

- Para el punto A

$$R_{A1} = 44,96N \quad R_{A2} = 344,8N$$

- Para el punto B

$$R_{B1} = 47,84N \quad R_{B2} = 382,7N$$

Se calcula la fuerza resultante para estos dos puntos, para determinar cual de ellas es la de mayor magnitud.

$$R_A = \sqrt{(R_{A1}^2 + R_{A2}^2)}$$

$$R_A = \sqrt{(44,96^2 + 344,8^2)} = \boxed{347,71N}$$

$$R_B = \sqrt{(R_{B1}^2 + R_{B2}^2)}$$

$$R_B = \sqrt{(47,84^2 + 382,7^2)} = \boxed{385,67N}$$

La fuerza radial en el punto B del eje es la fuerza de mayor magnitud, y por lo tanto, el proceso de selección se hará en base a este valor por ser el más crítico. Entonces la fuerza radial será de:

$$F_R = 385,67 N$$

En vista que no existen cargas de empuje en el sistema de transmisión, los rodamientos mas adecuados son los de bolas de una sola hilera, y además son los de uso mas común. La selección de los soportes con rodamiento se hicieron en base al diámetro del escalón del eje (el cual es de 35 mm), de acuerdo al catalogo de la **NSK**.

Para un soporte con rodamiento de diámetro interior de 35 mm, se obtienen los siguientes datos de carga que estos son capaces de soportar (ver **Apéndice G**):

$C = 25700N$	-Carga dinámica que soporta el rodamiento
$C_o = 15300N$	-Carga estática que soporta el rodamiento

Con estos valores se procede entonces a calcular la vida útil del rodamiento mediante la siguiente formula.

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^3 \text{ En millones de revoluciones}$$

Donde:

C	Carga que es capaz de soportar el rodamiento
P	Carga radial aplicada

Se resuelve  $L$  para el límite de carga dinámica que este es capaz de soportar, junto con la carga radial que soporta.

$$L = \left( \frac{25700}{385,67} \right)^3 = 295904,65 \text{ Millones de revoluciones}$$

Con este valor se puede analizar que el conjunto soporte-rodamiento va a tener una larga vida.

Lo que queda por determinar es la medida del tornillo, el cual también lo da el catálogo. Según para estos soportes, el catálogo recomienda un tornillo de 14mm de diámetro (M14), quedando por determinar el largo de éste de acuerdo a las necesidades de espacio, teniendo en cuenta el ancho del soporte, el cual es de 19mm, el ancho de la base en donde se va a situar, y el ancho de la tuerca.

Finalmente, la referencia correspondiente para el soporte con rodamiento seleccionado es: **UCP207**.

**9.1.6 Selección de los sellos mecánicos.** En la máquina se debe de garantizar que la cámara de molienda no permita que salga material por el eje del rotor y los agujeros de la cámara por donde dicho eje pasa, ya que el salpicado de material por estos espacios puede causar deterioro en las piezas que deben de estar aisladas del material, como es el caso de las chumaceras y cojinetes, además que el material que se encuentre dentro de la cámara, bajo esta situación quedaría expuesto a contaminarse por algún agente tóxico que se encuentre circulando en el ambiente al poderse entrar en estas holguras laterales. Por tal motivo se debe de cerrar estos espacios con algún tipo de pieza o elemento. Los sellos mecánicos son una excelente alternativa para este tipo de situaciones o problemas.

Los sellos mecánicos son básicamente anillos retenedores (O'ring) que tienen en su periferia interior un resorte, el cual se expande, para darle cavidad al eje que va a sujetar al aprisionarlo permitiendo su libre giro. Estos elementos se fabrican de muchos estilos y tamaños, dependiendo del tipo de aplicación en que se estén usando. Para este caso, los sellos que se seleccionen deben de ser fabricados en algún material elástico que permita el giro libre del motor impidiendo a su vez que pueda quedar algún juego entre el eje y el sello, además que también no debe de botar ninguna sustancia que pueda contaminar al material que esté en contacto.

Un reconocido fabricante de sellos mecánicos es la empresa SEALCO, la cual ofrece sellos para diferentes aplicaciones; para este caso, estos fabricantes recomiendan el sello tipo **650**, el cual es un sello diseñado para trabajar con sustancias alimenticias y/o orgánicas. La apariencia física de este elemento se muestra en la siguiente figura.

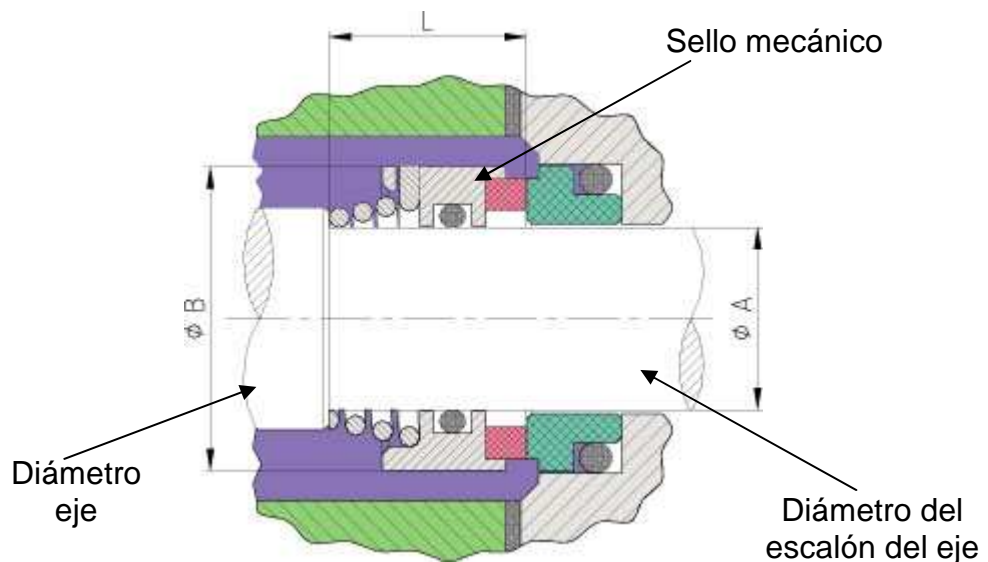


**Figura 60.** Sello mecánico tipo 650



Con la referencia a usar se determina el tamaño de este elemento en base al diámetro del eje. El catálogo dice que para un diámetro de 1,375 pulgadas (diámetro de los escalones del eje), la longitud del sello debe de ser de 1,122 pulg, y el diámetro externo de 1,929 pulgadas (ver referencia en el **Apéndice H**). La manera en como este elemento va conectado con el eje se muestra en la siguiente vista.

**Figura 61.** Ubicación del sello en el eje

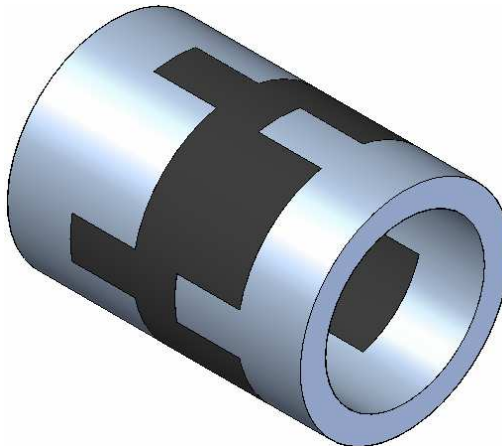


**9.1.7 Selección del acoplamiento.** Los acoplamientos como su nombre lo indica son elementos encargados de realizar acoples entre eje, con el fin de realizar la transmisión del par de torsión de una flecha a otra. Esto ya sea de manera lineal como de manera desalineal. Para el caso nuestro el acople será el que realice la conexión del eje del motor con el rotor de la maquina, de manera lineal. La selección de este elemento se considera de importancia ya que en el momento de su selección se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Resistencia a la fractura (modulo de rigidez alto)
- El tipo de acople que se utilice debe de ser poseer un alto grado de rigidez, debido a que tanto el dispositivo propulsor (flecha del motor) como el propulsado (flecha del rotor) estarán perfectamente alineados.
- El ajuste que proporcione el acople sobre estos ejes, debe de ser seguro y de mucha precisión a fin de evitar la introducción de fuerzas laterales y momentos perjudiciales.

Por lo tanto en base a estas consideraciones el acoplamiento que se selecciona en este diseño, es un acople elástico de quijadas, el cual es un acople que se compone de dos masas (casi siempre idénticas) con quijadas protuberantes, donde estas quijadas se superponen axialmente y se entrelazan torsionalmente a través de un inserto elástico de hule o de algún material de metal blando para unir los dos ejes. En la siguiente figura se muestra el aspecto físico de este elemento.

**Figura 62.** Aspecto físico del acoplamiento

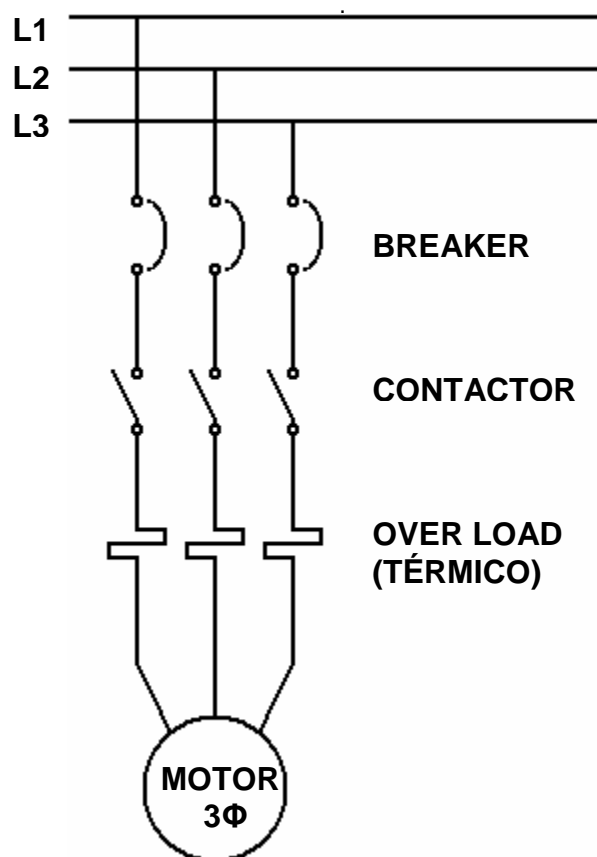


## 9.2 SUBSISTEMA ELÉCTRICO

Este subsistema comprende la forma en que se va a administrar y suministrar la fuerza o potencia a la máquina, así como la forma de protección ante problemas térmicos o de corto circuito en el motor. Para analizar lo dicho anteriormente, se realizan los llamados **diagramas de Fuerza o Potencia**, y **diagramas de control o lógica cableada**.

### 9.2.1 Diseño Diagrama de Fuerza ó Potencia

**Figura 63.** Diagrama de fuerza implementada en la máquina

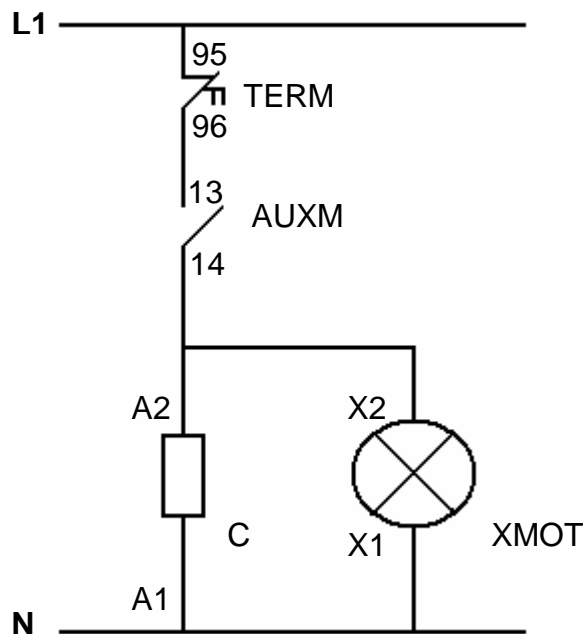


El diagrama de la **Figura 63**, muestra la conexión de los elementos hacia el motor. El primer elemento, es la caja de breaker que es de donde se parte para el suministro de energía.

El segundo elemento es un contactor el cual, al energizarse, cierra sus contactos permitiendo el flujo de corriente; estos contactos son de dos tipos: un contacto auxiliar abierto, y un contacto auxiliar cerrado. Estos contactos auxiliares son utilizados entonces para aplicarlos en el diagrama de la **Figura 64**. El tercer elemento, el contacto de protección, es un contacto cerrado que al detectarse una sobrecarga de corriente se abre, desenergizando las bobinas del motor, y evitando de esta manera que sufra daños graves, o simple y sencillamente se queme.

### 9.2.2 Diseño de Diagrama de Control ó Lógica Cableada

**Figura 64.** Diagrama de control implementado en la máquina



**Tabla 31.** Descripción de los términos del diagrama de control

GLOSARIO	
TÉRMINO	SIGNIFICADO
TERM	Contacto de protección ante exceso de corriente eléctrica o sobrecarga (OVERLOAD)
AUXM	Contacto auxiliar del contactor
C	Bobina del motor
XMOT	Piloto del motor

Como se puede apreciar en la **Figura 64**, la fuerza o energía pasa a través del contacto cerrado del térmico, y cuando se energiza el contactor (y por lo tanto, el contacto auxiliar abierto) del motor por medio de una tarjeta de control, se permite el paso de la corriente hasta llegar a las bobinas del motor, y a un piloto que indica al usuario que el motor está en funcionamiento.

Como se observa en el diseño de ambos diagramas (fuerza y control), son esencialmente básicos, pues la tarea del control del funcionamiento y el control ante fallas, se ha asignado al subsistema electrónico, dedicado solamente a realizar dicha actividad.

**9.2.3 Selección del motor.** La selección de conceptos en la etapa del proceso de diseño llegó a la conclusión de usar un motor trifásico de jaula de ardilla, por razones ya mencionadas anteriormente. Ahora, lo siguiente es seleccionar entre este tipo de motores el más adecuado para esta aplicación.

De acuerdo al subsistema mecánico, la máquina demanda un torque de **13,72 Nm**, y para seleccionar el motor, el grupo de diseño tuvo en cuenta las siguientes consideraciones: Velocidad a la que gira el motor, precio, potencia, torque, entre otros. Se escogió entre varios fabricantes, los motores **SIEMENS**, por recomendación de personas con experiencia en el tema.

**Tabla 32.** Características de motores trifásicos a 3600 rpm

Velocidad 3600 rpm, 2 polos, 60 Hz												
Potencia		F.S.	In		Eficiencia $\eta$ %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m <sup>2</sup>	Peso kg
HP	kW		220V A	440V A								
0,75	0,56	1,15	2,40	1,20	79	0,79	3430	1,56	2,7	6	0,00035	4,3
1	0,75	1,15	3,50	1,75	65	0,89	3320	2,15	2,5	4,7	0,00045	6
1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	68	0,90	3400	2,51	2,3	4,9	0,00085	8,4
1,5	1,12	1,15	5,30	2,65	69	0,90	3370	3,17	1,8	3,7	0,00085	8,4
2	1,49	1,15	6,20	3,10	74	0,86	3410	4,18	3,3	6,3	0,0011	10
2,4	1,79	1,15	7,00	3,50	79	0,83	3460	4,94	2,4	5,5	0,0015	11,7
3	2,24	1,15	9,00	4,50	76	0,84	3490	6,12	2,7	5,7	0,0015	13,7
4	2,98	1,15	12,20	6,10	82	0,88	3440	8,28	2,3	5,9	0,002	15
5	3,73	1,15	16,00	8,00	71,1	0,86	3480	10,24	2	5,2	0,0055	28
6,6	4,92	1,05	19,00	9,50	79	0,86	3480	13,51	2,6	6,8	0,0055	30,8
7,5	5,60	1,15	21,80	10,90	77,4	0,87	3460	15,44	2	5,8	0,0055	33,4
10	7,46	1,15	28,00	14,00	79	0,90	3500	20,35	2,4	6	0,016	50
12	8,95	1,05	32,00	16,00	80	0,89	3470	24,64	2,7	6,8	0,021	52,5
15	11,19	1,15	41,00	20,50	80,5	0,88	3500	30,53	2	6,5	0,021	56,5
20	14,92	1,15	56,00	28,00	87	0,90	3528	40,38	2	6	0,034	69,5
25	18,65	1,15	70,00	35,00	88	0,81	3540	50,31	2,1	5	0,04	82,5
30	22,38	1,05	81,00	40,50	90	0,88	3540	60,37	2,1	4,6	0,052	94
35	26,11	1,05	87,00	43,50	89	0,89	3540	70,43	2,5	6,6	0,077	160,5
40	29,84	1,05	102,00	51,00	90,5	0,88	3510	81,18	2,3	6,4	0,077	162
50	37,30	1,15	124,00	62,00	90	0,88	3530	100,90	2,4	6,6	0,14	235
60	44,76	1,15	148,00	74,00	91	0,87	3545	120,57	2,4	6,5	0,16	260
75	55,95	1,15	188,00	94,00	93,4	0,92	3540	150,93	1,8	6,8	0,24	320
100	75,00	1,00		120,00	93,6	0,88	3558	177,00	2,1	6,9	0,41	375
125	93,00	1,00		143,60	94,3	0,88	3570	241,00	2,4	7,5	0,72	510
150	112,00	1,00		169,70	94,8	0,89	3570	289,00	2,5	7,6	0,86	555
185	138,00	1,00		212,30	94,4	0,88	3576	352,00	2	7,4	1,2	700

En la **Tabla 32**, se muestran características de motores trifásicos de acuerdo a la potencia que manejan, y que giran a 3600 rpm. Como se puede apreciar, un motor de 10HP que gira a esta velocidad sería el adecuado a utilizar en la máquina, debido al torque. Sin embargo, se averiguó sobre el efecto que podrían causar velocidades altas a la máquina, y se concluyó que, aunque se mejora el proceso de picado (se obtiene molienda más fina), estas velocidades pueden causar vibraciones adicionales en el sistema, generando así inestabilidad; para solucionar este problema, se le debe de realizar un constante balanceo a la máquina, ocasionando ineficiencia al proceso. Es por eso que se decidió bajar la velocidad a 1800 rpm, y se encontraron motores con las siguientes características.



**Tabla 33.** Características de motores trifásicos a 1800 rpm

Velocidad 1800 rpm, 4 polos, 60 Hz												
Potencia		F.S.	In		Eficiencia $\eta$ %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m <sup>2</sup>	Peso kg
HP	kW		220V A	440V A								
0,4	0,30	1,05	1,60	0,80	66	0,77	1640	1,74	1,8	2,8	0,0006	4,7
0,5	0,37	1,15	1,90	0,95	66	0,81	1590	2,24	1,3	2,7	0,0006	5,5
0,6	0,45	1,05	2,20	1,10	69	0,76	1680	2,54	1,8	3,4	0,0008	6
0,75	0,56	1,15	2,90	1,45	65	0,79	1650	3,24	1,9	3,7	0,0008	6
1	0,75	1,15	3,50	1,75	69,2	0,87	1660	4,29	1,9	3,7	0,0015	8,1
1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	70	0,85	1675	5,10	2,2	3,7	0,0018	9,3
1,5	1,12	1,15	5,00	2,50	72	0,89	1650	6,48	1,8	3	0,0018	9,3
2	1,49	1,15	7,00	3,50	77	0,80	1700	8,38	2,2	4,4	0,0028	12,1
2,4	1,79	1,05	7,40	3,70	77	0,86	1690	10,12	2	4,5	0,0035	14,9
3	2,24	1,15	9,60	4,80	79	0,83	1708	12,51	1,8	3,6	0,0035	14,9
4	2,98	1,15	13,00	6,50	76,3	0,79	1750	16,28	2,2	5,6	0,0048	27,1
5	3,73	1,15	15,80	7,90	80,5	0,78	1740	20,47	2,3	6,5	0,0058	28,7
6,6	4,92	1,05	19,60	9,80	78	0,83	1740	27,02	2	6	0,011	31
7,5	5,60	1,15	23,20	11,60	80	0,79	1740	30,71	2,2	5,6	0,011	32,7
10	7,46	1,15	28,80	14,40	81	0,84	1750	40,71	2,3	6	0,018	46,5
12	8,95	1,05	34	17,00	81,2	0,83	1750	48,85	2,5	6,6	0,024	49
15	11,19	1,15	43	21,50	82,5	0,84	1750	61,06	1,8	5	0,024	62
20	14,92	1,15	53	26,50	85	0,85	1760	80,95	1,8	6,3	0,04	77,5
25	18,65	1,15	64	32,00	89	0,87	1755	101,48	1,8	5,4	0,052	85,5
30	22,38	1,05	78	39,00	90,7	0,83	1755	121,77	2	4,9	0,13	170
36	26,86	1,05	93	46,50	91,3	0,83	1760	145,71	2,8	6,8	0,15	190
40	29,84	1,05	104	52,00	91,3	0,83	1750	162,83	2	5,6	0,15	190
50	37,30	1,15	126	63,00	91,3	0,84	1760	202,38	2,7	6,8	0,24	250
60	44,76	1,15	148	74,00	96,2	0,86	1765	242,17	2,7	6,6	0,44	314
75	55,95	1,15	188	94,00	92,7	0,86	1780	300,16	2	5,1	0,52	321
100	75,00	1,00		120,00	93,3	0,85	1780	355	2,5	6,3	0,69	390
125	93,00	1,00		145,00	94,2	0,85	1785	482	2,5	7,4	1,29	520
150	111,90	1,00		177,50	94,6	0,86	1785	579	2,5	7,4	1,47	565
200	150	1,00		240,00	94,5	0,84	1783	707	2,6	6,5	2	700

Comparando la **Tabla 32** con la **Tabla 33**, se puede analizar que se disminuyó a la mitad la potencia necesaria al disminuir a la misma relación las revoluciones del motor, y por lo tanto, también se disminuye y casi en la misma proporción su precio.

Obsérvese también que el torque nominal del motor es de **20,47 Nm**, y para seguridad del motor, se prefiere utilizar el torque hasta un 70% de su capacidad, siendo **14,329 Nm** este porcentaje, y se analiza que alcanza a trabajar en el torque requerido por el sistema. Por lo tanto, un motor con estas características es el adecuado para utilizar en la máquina.

Finalmente, la referencia de este motor es **1LA7 112-4YA60** del fabricante **SIEMENS**. Para ver las características completas de este motor, refiérase al **Apéndice I**.

**Figura 65.** Motor Siemens 1LA7 112-4YA60



**9.2.4 Selección del contactor.** Este dispositivo se selecciona a partir de la potencia del motor, a las fases y al voltaje de cada fase. El más adecuado en cuanto a precio y características es el contactor referencia **3RT1025 - 1AG24** del fabricante **SIEMENS**.

**Tabla 34.** Referencias de contactores SIEMENS

Tipo	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del motor (HP)		Cont. Aux.
			AC1	AC3	220 V	440 V	Integrados
Contactores principales tripolares SIRIUS							
3RT1015 - 1AF01	110 Vac	S00	18	7	2.0	4.0	1 NA
3RT1015 - 1AN21	220 Vac	S00	18	7	2.0	4.0	1 NA
3RT1023 - 1AG24	110 Vac	S0	40	9	3.0	6.0	2NA + 2NC
3RT1023 - 1AN24	220 Vac	S0	40	9	3.0	6.0	2NA + 2NC
3RT1024 - 1AG24	110 Vac	S0	40	12	4.0	9.0	2NA + 2NC
3RT1024 - 1AN24	220 Vac	S0	40	12	4.0	9.0	2NA + 2NC
3RT1025 - 1AG24	110 Vac	S0	40	17	6.0	12.0	2NA + 2NC
3RT1025 - 1AN24	220 Vac	S0	40	17	6.0	12.0	2NA + 2NC
3RT1026 - 1AG24	110 Vac	S0	40	25	9.0	18.0	2NA + 2NC
3RT1026 - 1AN24	220 Vac	S0	40	25	9.0	18.0	2NA + 2NC
3RT1034 - 1AG20	110 Vac	S2	50	32	12.0	20.0	2NA + 2NC
3RT1034 - 1AN24	220 Vac	S2	50	32	12.0	20.0	2NA + 2NC
3RT1035 - 1AG24	110 Vac	S2	60	40	15.0	30.0	2NA + 2NC
3RT1035 - 1AN24	220 Vac	S2	60	40	15.0	30.0	2NA + 2NC
3RT1036 - 1AG24	110 Vac	S2	60	50	20.0	40.0	2NA + 2NC
3RT1036 - 1AN24	220 Vac	S2	60	50	20.0	40.0	2NA + 2NC
3RT1044 - 1AG24	110 Vac	S3	100	65	25.0	50.0	2NA + 2NC
3RT1044 - 1AN24	220 Vac	S3	100	65	25.0	50.0	2NA + 2NC
3RT1045 - 1AG24	110 Vac	S3	120	80	30.0	60.0	2NA + 2NC
3RT1045 - 1AN24	220 Vac	S3	120	80	30.0	60.0	2NA + 2NC
3RT1046 - 1AN24	220 Vac	S3	120	95	35.0	75.0	2NA + 2NC



**9.2.5 Selección del relé térmico.** Existen dos tipos de relés térmicos, los cuales son bimetálicos y electrónicos, pero por razones de costos, se seleccionó el relé tipo bimetálico. Éste relé se selecciona de acuerdo a la serie del contactor (3RT1025), y a la corriente nominal del motor; por lo tanto, el relé bimetálico más adecuado en cuanto a costos y características es el relé referencia **3RU1126 - 4BB0** también de la **SIEMENS**.

**Tabla 35.** Referencias de relés SIEMENS

Tipo	Tamaño	Regulación (A)	Para Contactores serie SIRIUS
<b>Relés de sobrecarga</b> (Bimetálicos 3RU y Electrónicos 3RB).			
3RU1116 - 0JB0	S00	0.7 - 1.0	3RT1015
3RU1116 - 1AB0	S00	1.1 - 1.6	3RT1015
3RU1116 - 1BB0	S00	1.4 - 2.0	3RT1015
3RU1116 - 1CB0	S00	1.8 - 2.5	3RT1015
3RU1116 - 1DB0	S00	2.2 - 3.2	3RT1015
3RU1116 - 1EB0	S00	2.8 - 4.0	3RT1015
3RU1116 - 1FB0	S00	3.5 - 5.0	3RT1015
3RU1116 - 1GB0	S00	4.5 - 6.3	3RT1015
3RU1126 - 1CB0	S0	1.8 - 2.5	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1DB0	S0	2.2 - 3.2	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1EB0	S0	2.8 - 4.0	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1FB0	S0	3.5 - 5.0	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1GB0	S0	4.5 - 6.3	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1HB0	S0	5.5 - 8.0	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1JB0	S0	7.0 - 10.0	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 1KB0	S0	9.0 - 12.5	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1126 - 4AB0	S0	11.0 - 16.0	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
<b>3RU1126 - 4BB0</b>	<b>S0</b>	<b>14.0 - 20.0</b>	<b>3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026</b>
3RU1126 - 4DB0	S0	20.0 - 25.0	3RT1023 / 1024 / 1025 / 1026
3RU1136 - 4DB0	S2	18.0 - 25.0	3RT1034 / 1035 / 1036
3RU1136 - 4EB0	S2	22.0 - 32.0	3RT1034 / 1035 / 1036
3RU1136 - 4FB0	S2	28.0 - 40.0	3RT1034 / 1035 / 1036
3RU1136 - 4HB0	S2	40.0 - 50.0	3RT1034 / 1035 / 1036
3RB1046 - 1EB0 <i>Electrónico</i>	S3	25.0 - 100.0	3RT1044 / 1045 / 1046
3RB1056 - 1FW0 <i>Electrónico</i>	S6	50.0 - 200.0	3RT1054 / 1055 / 1056
3RB1066 - 1GG0 <i>Electrónico</i>	S10 / S12	55.0 - 250.0	3RT1064 / 1065
3RB1066 - 1KG0 <i>Electrónico</i>	S10 / S12	200.0 - 540.0	3RT1075 / 1076

Estos relés, tanto bimetálicos como electrónicos, brindan protección al motor ante una sobrecarga y marcha en dos fases.

### 9.3 SUBSISTEMA ELECTRÓNICO

El subsistema electrónico añade a la máquina un muy buen nivel de automaticidad, optimizando de esta forma el proceso, pues brinda el ahorro en el consumo de energía eléctrica, protege y alarga la vida útil del motor, y brinda seguridad al operario o usuario de la máquina, así como ofrece la opción de control estadístico mediante el nivel de producción, y visualización interactiva del estado de la máquina con respecto al proceso. De esta manera, se le da un valor añadido a la máquina muy importante, y se logra ante todo, eficiencia en el proceso.

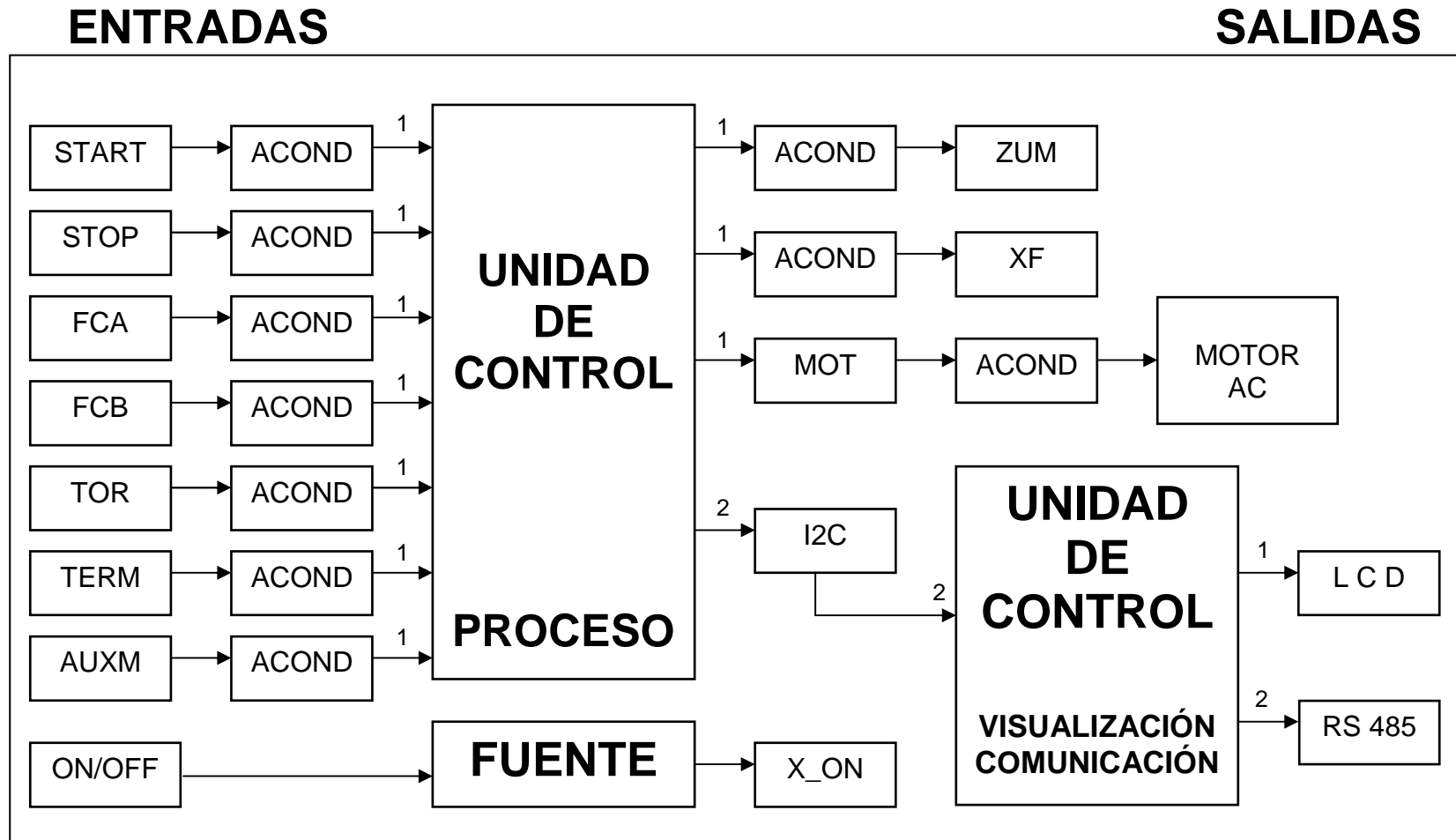
Con respecto al diseño electrónico de la máquina, se debe de tener en cuenta la arquitectura que se desea, expresando esta mediante un diagrama de bloques (**Figura 66**), el cual muestra el esquema del hardware del sistema electrónico, para así determinar qué componentes o qué etapas se deben de implementar en la tarjeta de control, como la etapa de entradas, procesamiento, salidas, acondicionamiento de señales, etc. Además, se plantean los esquemas de los circuitos electrónicos para cada etapa, abarcando esta manera el diseño de la tarjeta electrónica.

Con respecto a la arquitectura del control y procesamiento, se enfoca principalmente en el software, al cual le corresponde diagramas de flujo (**Figuras 77 a 86**), en donde se procesa todo el estado del comportamiento de las entradas del proceso, para de esta forma manipular las salidas adecuadas del sistema, realizando tres estrategias claves, las cuales son: Estrategia de control, estrategia de alarmas o fallas, y estrategia de comunicación. Además, se visualizará al usuario el comportamiento de la máquina para un mejor manejo de la información.

Se analizarán detalladamente ambas arquitecturas tanto en el hardware (Diagrama de bloques) como en el software (Diagrama de flujo), para llegar finalmente al diseño electrónico más óptimo para esta aplicación.

## Arquitectura del subsistema electrónico (hardware)

Figura 66. Diagrama de bloques del subsistema electrónico



**Tabla 36.** Glosario de términos utilizados en el diagrama de bloques

G L O S A R I O			
E N T R A D A S		S A L I D A S	
TÉRMINO	SIGNIFICADO	TÉRMINO	SIGNIFICADO
START	Pulsador de arranque del molino	ZUM	Alerta sonora
STOP	Pulsador paro de emergencia	XF	Piloto de Alarma
FCA	Bumper de la puerta derecha	MOT	Motor encendido
FCB	Bumper de la puerta izquierda	I2C	Protocolo de Comunicación I2C
TOR	Sensor infrarrojo contador de toronjas	RS485	Norma RS485 para redes industriales
TERM	Sensor térmico del motor		
AUXM	Contacto auxiliar del motor		
TÉRMINO		SIGNIFICADO	
ACOND		Circuito acondicionador de señal	
ON/OFF		Switch de alimentación principal	
X_ON		Piloto encendido	

En la **Figura 66**, se plantea una arquitectura de hardware tipo modular, en la cual intervienen dos unidades de control, con el fin de lograr que el diseño se vuelva un poco flexible y versátil; de esta manera se hace mucho menos complicado corregir y/o detectar posibles errores o fallas y no solamente en la parte de hardware, sino también en la parte de software, pues de esta manera se evita sobrecargar demasiado el código o programa, y se hace más claro el panorama del funcionamiento que se desea en el proceso.

Si se plantea una arquitectura como esta o más distribuida, el tamaño y costo de la tarjeta de control podría aumentar significativamente, pero el nivel de modularidad optimiza enormemente el funcionamiento de la tarjeta por lo dicho anteriormente, y además, brinda la posibilidad de ampliación y/o modificación de la aplicación, que en caso de ser una arquitectura integral, sería muy complicado, o casi imposible realizarlo.

Como se puede apreciar en dicho diagrama de bloques, la **Unidad de Control del Proceso** se encarga única y exclusivamente de interpretar y procesar las variables de entrada y manipular las variables de salida del proceso, enviándolas por medio de un protocolo de comunicación serial I2C (ver **Apéndice J**) a la otra unidad de control; mientras que la **Unidad de Control de Visualización y Comunicación** se encarga de recibir los datos correspondientes a las variables del proceso (tanto entradas como salidas) provenientes de la unidad de control del proceso a través de dicho protocolo, y también se encarga de visualizar en una pantalla LCD el comportamiento de la máquina, y aviso de fallas. Además, se pensó en la opción de enviar los datos de las variables de la máquina a una red RS485. Esta opción se ha dejado pensando en posibles mejoras que se le realice no sólo a la máquina en sí, sino a la empresa como tal, porque en un futuro se podrán desarrollar uno o varios molinos como éste para aumentar el nivel de producción, y por tanto, la idea es comunicar estos molinos entre sí por medio de una red RS485 (que es una norma para configurar redes industriales), y todos esos datos enviarlos a un PC, el cual se encargará de depurarlos para luego desarrollar datos estadísticos de producción, obtener información sobre el estado de cada molino, y así, optimizar aún más el proceso.

**9.3.1 Selección de las unidades de control.** Para la selección de estas dos unidades de control, se realizó un minucioso análisis en cuanto a los costos que implica la adquisición de este tipo de dispositivo, como de los requerimientos exigidos por la misma máquina. En base a estos dos factores se tienen las siguientes alternativas: **PLC** ó **Microcontrolador**.

Para la evaluación de estas dos opciones, se realizó una tabla de comparación, donde se muestran las ventajas y desventajas que presentan cada uno de estos dispositivos; esta se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 37.** Tabla de comparación de los módulos de control

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>PLC</b>	Facilidad en la programación (programa en ladder)	Costo de adquisición muy elevado en comparación con un $\mu C$
	Instalación	Tamaño (espacio)
	Flexibilidad	Peso
	Robustez (seguridad industrial)	Visualización del Proceso
	Compatibilidad con Redes de comunicación. (RS-232, 485)	
	Etapas de protección implementadas en sus entradas y salidas	
	Arquitectura modular implementada	
	Programación en lenguaje industrial	
<b>MICROCONTROLADOR</b>	Costo de adquisición muy bajo en comparación con un PLC	Requiere ser montado en una tarjeta de desarrollo
	Tamaño (espacio)	Instalación
	Facilidad de adquisición	Se le deben de implementar circuitos de acondicionamiento para protección
	Existe una gran variedad de modelos	Para trabajar con redes de comunicación se requiere de hardware
	Compatibilidad con Redes de comunicación. (RS-232 - RS485)	La programación en assembler no es óptima para un ambiente industrial
	La utilización de periféricos es fácil de implementar	
	Algunos de estos son de software libre	

Como se puede observar, las ventajas que ofrece un PLC son mayores respecto a las que ofrece un microcontrolador, siendo esta alternativa entonces la más adecuada para el desarrollo de este proyecto, pero infortunadamente esta opción tuvo que ser descartada por motivos de costos. Por tal motivo, se optó por seleccionar la segunda opción que es la de los microcontroladores.

Con la decisión tomada de utilizar microcontroladores para realizar el sistema de control del hardware electrónico de la máquina, se debe primero hacer referencia a los requerimientos que demanda esta aplicación, en vista que se van a utilizar unidades de control de tipo microcontrolador para el desarrollo de este proyecto; este proceso como tal, exige que la programación de su sistema de control se efectúe en un lenguaje tipo industrial como lo es el GRAFCET, LADDER, LÓGICO, etc. Debido a que el sistema que se diseñe debe de ofrecer versatilidad y flexibilidad a cambios, como también la adaptabilidad a los ambientes industriales; los PLC's no presentan ningún tipo de problema en cuanto a esto, ya que esta clase de equipos fueron diseñados para este tipo de necesidades, mientras que en el caso de los microcontroladores de gama baja (familia PIC12FXXX ó ATXXXX) y media (familia PIC16FXXX ó ATXXXX), la situación es distinta debido a que la mayoría de estos dispositivos no son recomendables para este tipo de requerimientos, pues más bien lo son para aplicaciones educativas, por lo que se hace necesario utilizar microcontroladores de mayor robustez, aptos para este tipo de ambientes, los cuales son conocidos como microcontroladores de gama alta (familia PIC18FXXX ó ATXXXX).

Con la selección de la gama para los microcontroladores que se van a utilizar en el desarrollo del subsistema electrónico de la máquina, se pasa ahora a establecer la marca de estos elementos con los cuales se va trabajar, debido a que en la actualidad existe una gran variedad de fabricantes que realizan esta clase de dispositivos, donde para el desarrollo de este ejercicio se tomaron como referencia los fabricantes de microcontroladores que el grupo de diseño maneja y con los cuales se ha llegado a trabajar; estos son los siguientes:

- Microcontroladores ATMEL de la marca Intel
- Microcontroladores PIC de la marca Microchip

Las familias grandes de estas dos clases de microcontroladores ofrecen la facilidad que se pueden programar en lenguaje ensamblador o en lenguaje de alto nivel donde se difiere obviamente la manera como se programa cada uno.

En el caso de los microcontroladores PIC, poseen una gran particularidad, y es que ellos se prestan para programar en lenguaje industrial (LÓGICO) al igual como también se hace en algunos PLC's, con tan solo diseñar y utilizar macros o funciones. Por el contrario, en el caso de los microcontroladores ATMEL la situación es distinta, ya que estos no brindan esta opción, por lo que se vería obligado a programar en assembler, lo cual complicaría enormemente la realización del programa, y además no sería adecuado para el sistema de control de la máquina, ya que se perdería flexibilidad al dificultarse el rediseño del programa en el caso que se deseara realizar en un futuro alguna modificación o expansión al proceso. Por lo mencionado anteriormente, resulta más conveniente para el grupo de trabajo **usar microcontroladores PIC para la realización de este proyecto.**

Con esta decisión de utilizar estos microcontroladores, se procede ahora a seleccionar el modelo o referencia de las dos unidades de control que se requieren, conociendo el hecho que existe una amplia variedad de modelos. Para llevar a cabo esto, las consideraciones que se tendrán en cuenta son las siguientes:

- Cantidad de pines (I/O) que se necesitan en cada módulo de control del sistema (entradas y salidas)
- Tener integrado en su arquitectura módulos MSSP, (puerto serial síncrono maestro) para manejar comunicación I2C
- Grado de comercialización que tenga en el país
- Costo de adquisición

**9.3.1.1 Desarrollo de unidad de control del proceso.** Para la primera unidad de control que es la encargada de manipular las variables del proceso (unidad de control proceso), se requiere como mínimo que su dispositivo de control posea 12 pines (ver **Figura 66**), para manejar las distintas entradas y salidas, por lo que se pensó en las siguientes referencias:

- PIC 18F442
- PIC 18F452
- PIC 18F242
- PIC 18F252



Estos modelos cumplen con todas las consideraciones anteriormente descritas, por lo que cualquiera de ellos se podría utilizar para suplir estas necesidades. Para efectos de selección se muestra de manera muy general algunas de sus características y/o especificaciones mediante el siguiente cuadro.

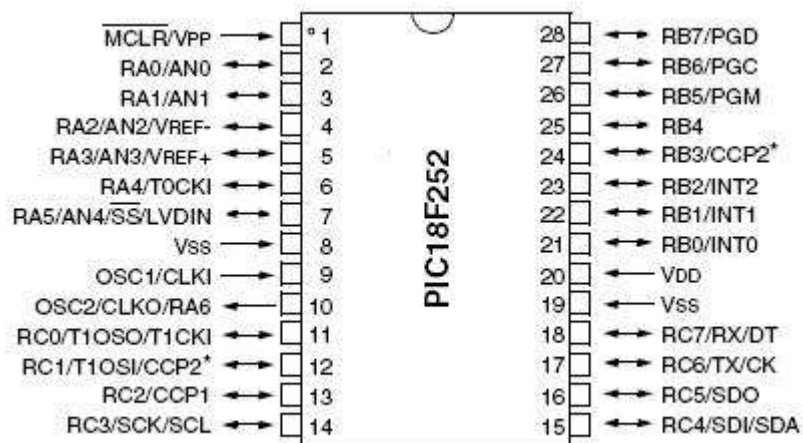
**Tabla 38.** Características generales de la serie 18FXXX de los PIC's

Uc	Pines de entrada y salida	Memoria de programa (KB)	Memoria de datos (Bytes)	\$ mil
<b>PIC 18F442</b>	33	16	768	30
<b>PIC 18F452</b>	33	32	1536	35
<b>PIC 18F242</b>	22	16	768	28
<b>PIC 18F252</b>	22	32	1536	33

Observando la tabla anterior, se comprueba que los modelos 18F242 y 18F252 son los mas óptimos para seleccionar, debido a que la cantidad de pines de I/O que sobran en ellos es menor que en los modelos restantes, los cuales se podrían aprovechar en un futuro para expandir el hardware del sistema, además que la diferencia de precio con estos últimos también es considerable.

Ahora, lo último que queda por determinar es cual de estos dos modelos escogidos es el más indicado para seleccionar en esta primera unidad; para esto, simplemente basta comparar los precios de adquisición y la capacidad de memoria de programa que tienen, donde se ve que el modelo 18F252 presenta el doble de memoria (32 KB) que el 18F242 (16KB) y además que la diferencia de precios entre ellos no es tan alta. Es por este motivo que se decidió **seleccionar el PIC 18F252** como dispositivo de desarrollo para la unidad de control del proceso. A continuación se muestra la distribución de pines de este modelo.

**Figura 67.** Distribución de pines del PIC18F252



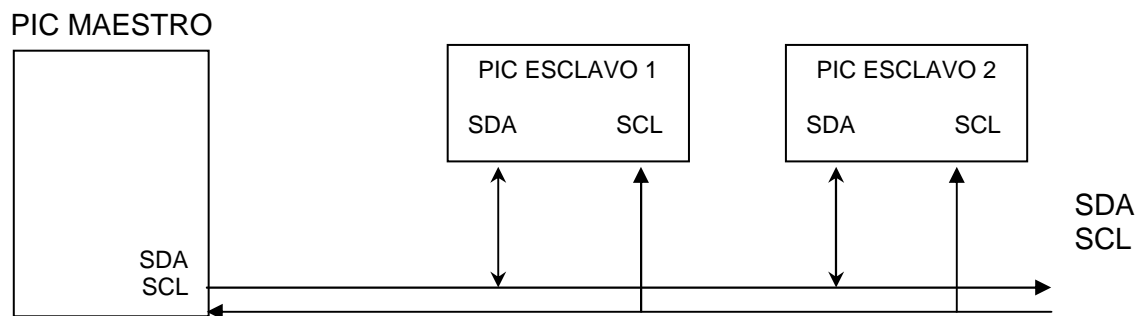
Para obtener más información con respecto a este dispositivo refiérase al **Apéndice K**.

**9.3.1.2 Desarrollo de la unidad de control de visualización.** Para esta unidad que es la encargada de imprimir en el módulo de visualización (LCD) los diferentes eventos y estados de la máquina, se requiere que el microcontrolador que se escoja posea como mínimo 14 pines de entradas y salidas, por lo que se decidió utilizar el mismo modelo de microcontrolador que se usó para desarrollar la primera unidad de control, es decir el PIC 18F252 (ver **Figura 67**).

**9.3.2 Bus de comunicación I2C.** Lograr la interconexión de los dos microcontroladores que componen el hardware electrónico de este subsistema, se debe de desarrollar una interfaz de comunicación la cual permita llevar a cabo la transferencia de información entre estos dos dispositivos. En este caso se optó por desarrollar una interfaz de comunicación serial, ya que este tipo de comunicación requiere de pocos pines para realizarse, y además que los microcontroladores que se seleccionaron para desarrollar este sistema electrónico (PIC18F252) traen en su encapsulado módulos de comunicación de este tipo, a pesar que la velocidad de transmisión y recepción de datos que se puede lograr no es tan alta; sin embargo, este aspecto no se considera tan significativo para el desarrollo de esta aplicación.

El tipo de interfaz que se escogió para realizar esta tarea es el bus de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit), la cual es una interfaz serial de dos hilos (multipunto) desarrollada por Philips/Signetics. Este bus está orientado a aplicaciones donde se tenga que manejar dispositivos de control como son los microcontroladores y microprocesadores, y además de la necesidad de utilizar una gran cantidad de dispositivos periféricos tales como las memorias seriales, convertidores A/D, controladores de displays, lcd's, etc. De estas dos líneas, una es la encargada de transferir los datos que se envían por el bus, conocida como SDA; mientras que la otra línea se ocupa de llevar los impulsos de reloj que genera el/los maestro/s del bus; esta última línea tiene la función de sincronizar las transferencias con todos los esclavos que estén conectados a las dos líneas. En la siguiente figura se muestra un esquema básico de una red I2C manejada por un solo maestro.

**Figura 68.** Red I2C manejada por un solo maestro



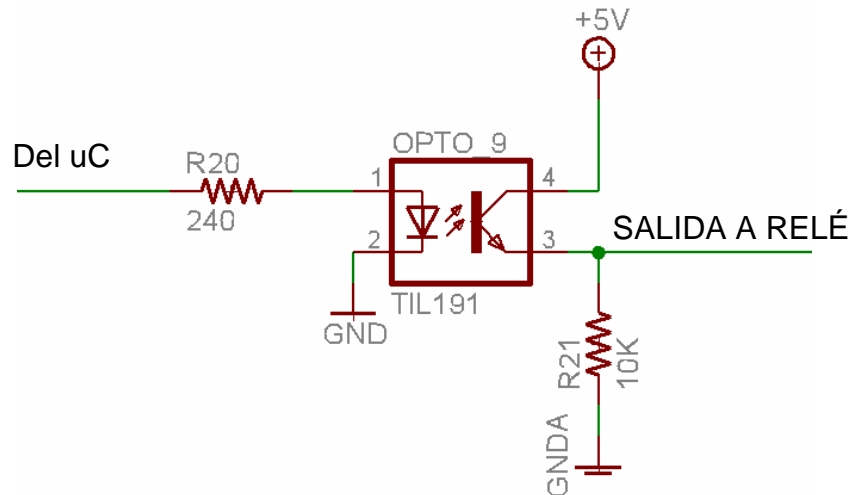
**9.3.2.1 Velocidad de transferencia.** En esta interfaz los datos se pueden transferir a una velocidad hasta de 100 Kbits/s cuando se configura en modo estándar y hasta de 400 Kbits/s cuando se trabaja en modo rápido. Para el desarrollo de esta aplicación, se optó por trabajar a una velocidad de 100 Kbit/s, debido a que la velocidad no se considera un aspecto crítico. El número de dispositivos conectados al bus está limitado por la máxima capacidad del bus que es de 400 pF.

Para estudiar el formato de transferencia de datos y de direcciones que maneja este protocolo de comunicación serial, por favor refiérase al **Apéndice J**.

### 9.3.3 Diseño de circuitos electrónicos

#### 9.3.3.1 Circuito para energizar el contactor del motor (MOT)

**Figura 69.** Circuito para energizar el contactor del motor



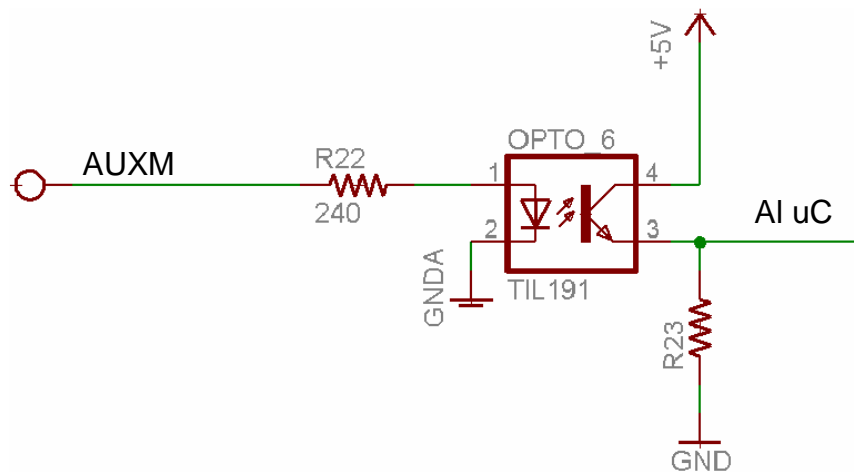
En el circuito de la **Figura 69**, se busca aislar la etapa de potencia (que es la energía que pasa a través del contactor) con la etapa de control, que corresponde al microcontrolador. Es por eso que además de diseñar un aislamiento óptico, se manda a una salida a relé, donde se trabaja con voltajes y corrientes mucho más elevados, pero sin hacer daño alguno a la unidad de control, pues está protegida por doble aislamiento; por lo tanto, este relé es usado en otra tarjeta.

En general, todas las entradas y salidas del sistema se le debe de diseñar una serie de circuitos acondicionadores para garantizar que las señales que estos envíen a su sistema de control sean señales libres de algún tipo de distorsión o perturbación, y además que sean compatibles con las de este mismo; también el diseño de estos circuitos brindará seguridad y protección a las entradas de este sistema ante alguna señal inesperada.

### 9.3.3.2 Circuito para “leer” el contacto auxiliar y el térmico (AUXM-TERM).

Como se puede analizar en el subsistema eléctrico (**Tabla 34**), el contactor tiene dos contactos auxiliares cerrados, y dos contactos auxiliares abiertos. De esta manera, se van a utilizar los dos contactos auxiliares normal abiertos de la siguiente forma: Uno se conecta a un bombillo (piloto) a 110VAC, el cual va a indicar cuando el motor esté en funcionamiento (**Figura 64**); el otro, se le van a conectar 10VDC, el cual, cuando se energice el contactor y por lo tanto se cierre este contacto, se van a mandar esos 10VDC al microcontrolador como se muestra de la siguiente forma.

**Figura 70.** Circuito para detectar el estado del contactor



Con respecto al relé térmico, se utilizaría el mismo diseño del circuito de la **Figura 70**.

**9.3.3.3 Selección del sensor contador de toronjas (TOR).** Como se mencionó anteriormente, implementar un sistema que cuente la cantidad de toronjas que van a ser procesadas, es un factor clave para manejar datos estadísticos de producción, y optimizar el funcionamiento de la máquina.

Existen varios tipos de sensores con los cuales se puede efectuar una operación de conteo, pero se requiere especialmente que no se manipule el material que vaya a ser detectado; algunos de estos tipos de sensores que servirían son:

- Sensores Inductivos
- Sensores Capacitivos
- Sensores ultrasónicos
- Sensores ópticos de proximidad

En cuanto a los sensores inductivos, se tiene una gran desventaja, y es que solamente detectan objetos metálicos, y obviamente para esta aplicación no es óptimo seleccionarlos. Los sensores capacitivos detectan algunos objetos de diferentes materiales, pero el rango de distancia es muy pequeño (hasta 10mm), y por tanto, no se podría utilizar, pues una toronja mide alrededor de 10 a 25 cm de diámetro. Los sensores ultrasónicos también detectan gran variedad de materiales a distancias mayores, siendo su única desventaja el precio, y sus circuitos de acondicionamiento. Por último, los sensores ópticos de proximidad, detectan distancias mayores, dependiendo del tipo de sensor, y su precio es más cómodo, además de la facilidad de circuitos de acondicionamiento.

Debido a lo anterior, **se optó por seleccionar un sensor óptico de proximidad** que sea robusto, que soporte un ambiente industrial, que sirva para el rango de distancia que se va a medir (min 20cm), y tenga un circuito de acondicionamiento de señal básico, o que ya lo tenga incorporado.

Entrándose en los sensores ópticos de proximidad, existen entre otros, básicamente dos tipos: infrarrojos y rayos láser; este último tiene un costo muy elevado, y son diseñados para grandes distancias de detección. Por lo tanto, **el sensor adecuado a seleccionar es uno de tipo infrarrojo.**

Finalmente, este tipo de sensor infrarrojo se utilizará como barrera infrarroja, interrumpiendo dicha barrera la cantidad de toronjas que pasan a través del ducto de alimentación y caen directo a la cámara de molienda.

Se buscaron, de diferentes fabricantes de este tipo de sensores, los que mejor se acomodaran a las necesidades de la máquina, y como selección final, el sensor más económico que cumpla con los mínimos requerimientos. Se ha seleccionado, por lo tanto, de varias marcas analizadas como son la SIEMENS, ALLEN BRADLEY, entre otros, la marca TELEMECANIQUE con sus productos OSIRIS que corresponden a los sensores optoelectricos. Este sensor es de referencia **XU2 N18NP341D**; algunas de sus características son:

**Figura 71.** Sensor infrarrojo OSIRIS XU2 N18NP341D



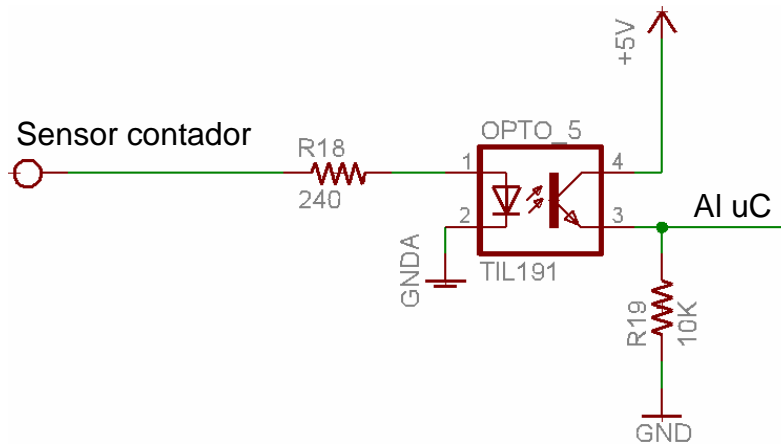
**Tabla 39.** Características técnicas del sensor infrarrojo

SENSOR OSIRIS XU2 N18NP341D			
VOLTAJE (V)	CORRIENTE (mA)	Rango (m)	Temperatura (°C)
10 a 30	$\leq 50$	0 a 15	25 a 55

Para analizar las características completas de este sensor optoelectrico, refiérase al **Apéndice L**.

**9.3.3.4 Diseño del circuito para el sensor contador.** Este circuito es muy básico, pues como se había mencionado anteriormente, el circuito acondicionador ya está incluido en el sensor, y por lo tanto, el diseño de este circuito se enfoca solamente en la protección al microcontrolador mediante acopladores ópticos.

**Figura 72.** Circuito de acople del sensor a la unidad de control



Como se aprecia en la **Tabla 39**, y de acuerdo a las características de este sensor, su alimentación será de 10VDC, y por tanto, entregará 10VDC al detectar la presencia o paso de una toronja; este circuito, además de acoplar ópticamente, cambia los niveles de voltaje del sensor (0 a 10), hacia el microcontrolador (0 a 5), para entonces poder procesar los datos confiablemente, sin correr riesgos en el daño de dicha unidad de control.

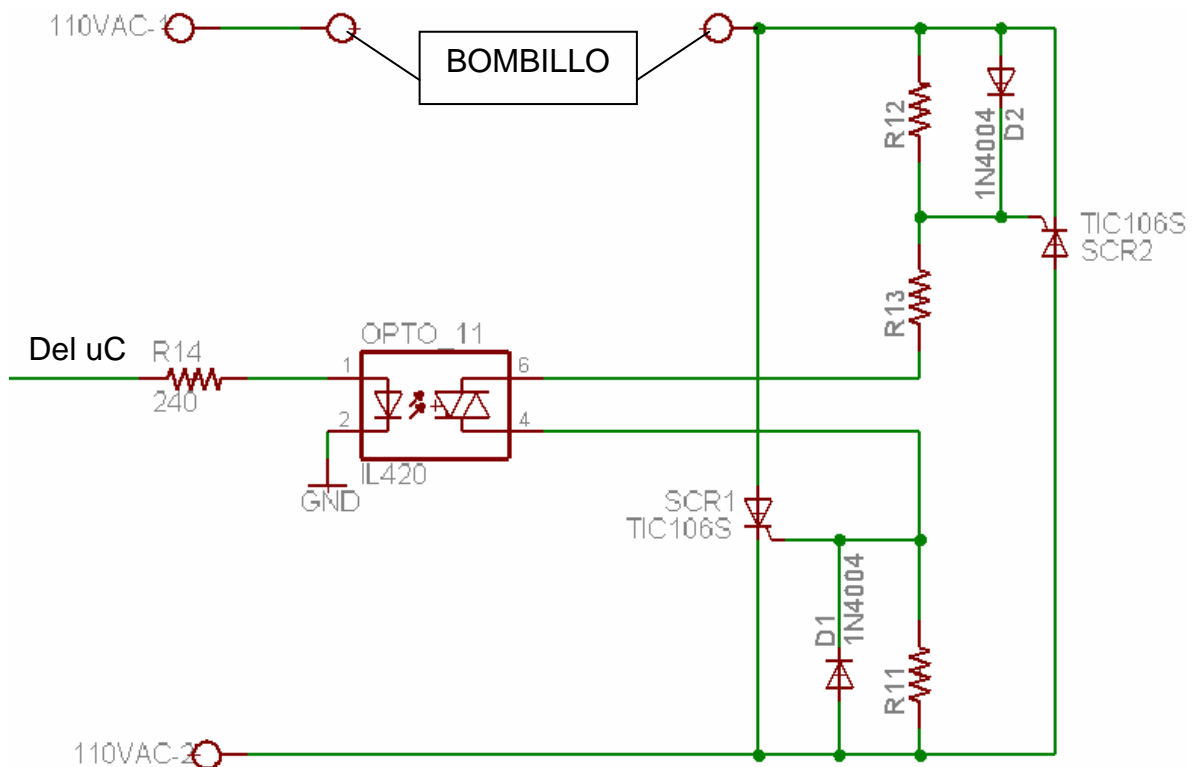
**9.3.3.5 Diseño del circuito de aviso de fallas (XFAL).** Mediante el diseño de este circuito, el operario o usuario de la máquina podrá saber en qué momento se ha generado cualquier tipo de falla, ya que en el momento en que ocurra esto, la máquina activa un señalizador o piloto, que indica la ocurrencia de una acción extraordinaria durante la operación normal de la máquina. Las fallas (estrategia de alarmas) que se podrían dar en este sistema son:

- El no arranque del motor una vez a éste se le ha mandado la orden de activarse (falla en el contactor del motor).
- Falla térmica (disparo de los over load's por sobrecalentamiento en los conductores).
- La no transición o cambio de estado (que se quede en un estado alto) en la señal de salida del sensor que cuenta las toronjas que van pasando, y por ende van cayendo a la cámara de molienda (falla por atascamiento de material).



El circuito diseñado para activar el piloto de alarma es un relé de estado sólido, el cual es un circuito electrónico que controla el suministro de potencia entregada a una carga mediante un arreglo de dispositivos semiconductores (SCR's) el cual, para funcionar requiere de una señal de activación, que por lo general es nivel lógico positivo (flanco de subida) que en este caso provendrá del sistema de control de la máquina. El esquema electrónico de este circuito se muestra en la **Figura 73**.

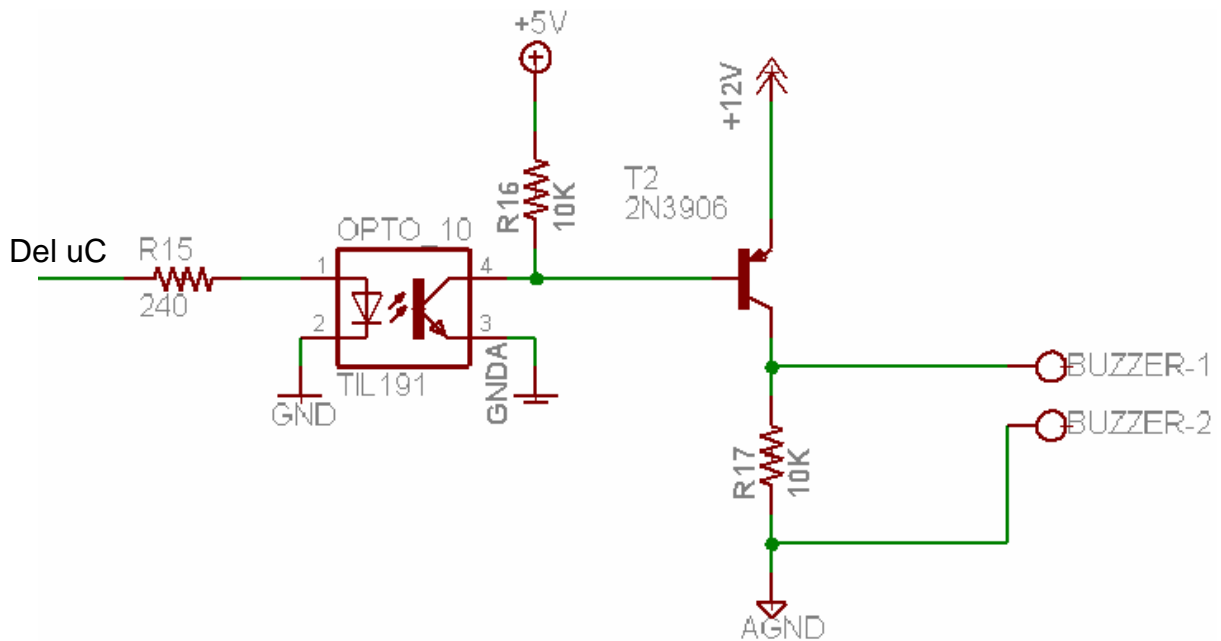
**Figura 73.** Circuito del relé de estado sólido



Este relé de estado sólido está diseñado para operar con un voltaje alterno de 110 voltios, el cual es el mismo voltaje con que se alimenta la carga (piloto). Como se explicó anteriormente, este circuito está compuesto por dispositivos SCR's, los cuales son los que permiten conmutar la energía a entregar a la carga para cada ciclo de la onda alterna de corriente, mediante una señal lógica proveniente de la unidad de control del proceso. Esta señal de control se acopla a este circuito mediante un opto-triac, con el fin de garantizar el correspondiente aislamiento eléctrico entre ambos circuitos. Por otro lado, los dispositivos D1, D2, R11 y R12 se utilizan para proteger el circuito de corrientes inversas que se puedan generar en el sistema mientras que la resistencia R13 se utiliza para ajustar la sensibilidad del circuito.

**9.3.3.6 Diseño del circuito del zumbador (ZUM).** Este aviso sonoro mejora la forma de llamar la atención del operario para avisar sobre algún evento en el proceso; por esa razón se decidió implementar un zumbador o buzzer en este sistema.

**Figura 74.** Circuito del zumbador



Como se aprecia en el circuito de la **Figura 74**, primero se realiza el aislamiento óptico del sistema de control, y luego se pasa a una pequeña etapa de potencia por medio del transistor pnp 2N3906, que es el que finalmente le transmite la corriente al zumbador para que éste suene.

**9.3.3.7 Diseño de circuitos de acondicionamiento de los pulsadores.** Como se mostró en la arquitectura del hardware electrónico del sistema (**Figura 66**), la máquina contiene 2 pulsadores, los cuales se usan para arrancar (Start) y parar el proceso (Stop). A cada uno de estos botones se les diseñó un circuito especial. Los circuitos a desarrollar son los siguientes:

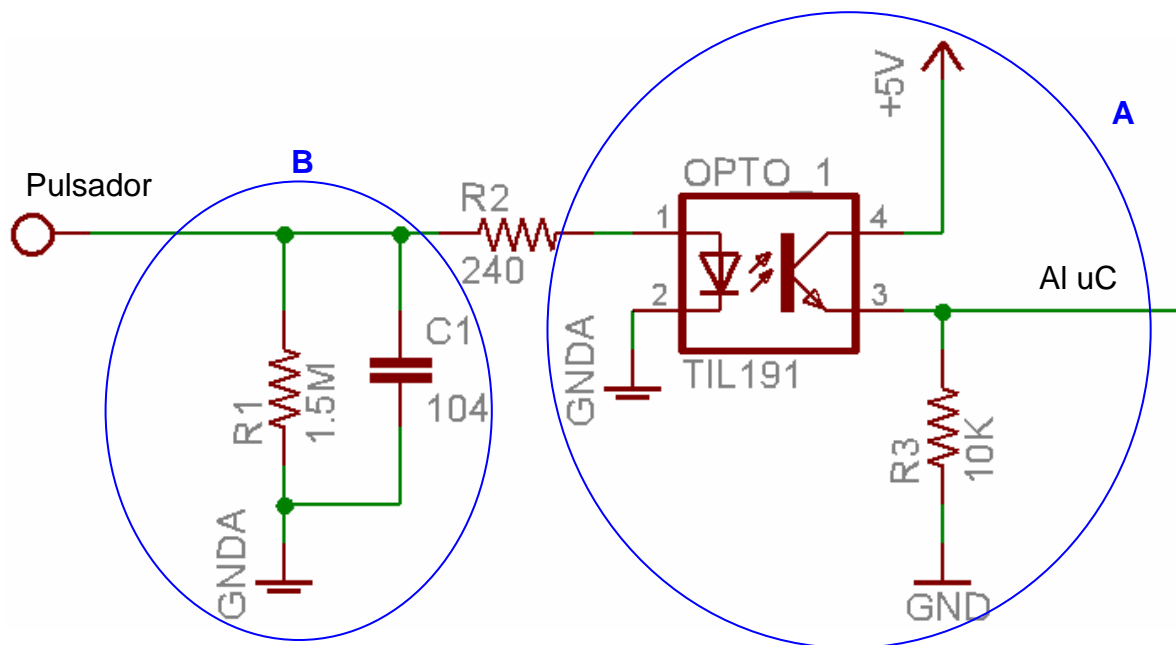
Circuito de protección de las entradas: Este circuito estará encargado de aislar de forma opto-acoplada las señales de voltaje que llegan del exterior (pulsadores), las cuales deberán llegar de forma segura a las entradas del sistema de control. El diseño de este circuito se puede apreciar en la **Figura 75**, el cual es denotado por la región encerrada llamada A.

Circuito de antirebote: Es un circuito mucho más simple que el anterior; la necesidad de implementar este circuito se da para suprimir las oscilaciones de tensión que generan por lo general los pulsadores cuando se presiona y se sueltan; con este circuito, se logra prever que las entradas del sistema de control tome señales indeseadas. Este circuito se muestra en la **Figura 75**, señalado por la región encerrada de nombre B.

**Figura 75.** Acondicionamiento de la señal de los pulsadores

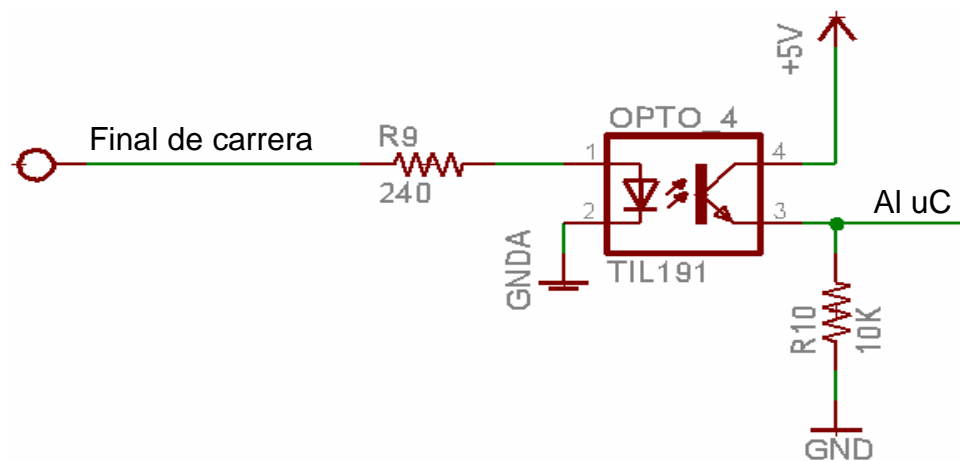
**A.** Circuito de protección de las entradas

**B.** Circuito antirebote



**9.3.3.8 Seguridad industrial en la máquina (FCA-FCB).** La seguridad industrial es un aspecto de vital importancia en la industria, ya que no se puede poner en riesgo la vida o la integridad de los operarios. Es por eso que se debe de tener en cuenta en el diseño que estos equipos cumplan con una serie de normas de seguridad y ofrezcan también la apropiada protección en su entorno laboral, para así garantizar la integridad física de estas personas, las cuales van a estar expuestas ante dichos procesos. En el caso de la máquina propuesta en este trabajo, es indispensable garantizar que una vez puesta en funcionamiento, ésta se suspenda automáticamente al detectar que una persona u operario haya abierto sus puertas con el fin de inspeccionar su interior en donde se encuentra la cámara de molienda (rotor y cuchillas); igual sucede cuando la máquina está detenida y sus puertas se encuentran abiertas, y de pronto se da la orden de poner en marcha; en este caso, la máquina no puede arrancar hasta que esta persona no cierre primero estas puertas. Para lograr lo descrito, a este sistema se le incorporó en los extremos de cada una de sus puertas un sensor que se encarga de inspeccionar el estado en que se encuentre cada una de éstas (abierta o cerrada); terminado de ver el estado de estos elementos, estos dos sensores se encargan de enviarle una señal eléctrica a la unidad de control, para que este realice las acciones correspondientes en ese momento. El circuito diseñado para llevar a cabo esta tarea se muestra en la siguiente figura.

**Figura 76.** Circuito detector del estado de las puertas de la máquina

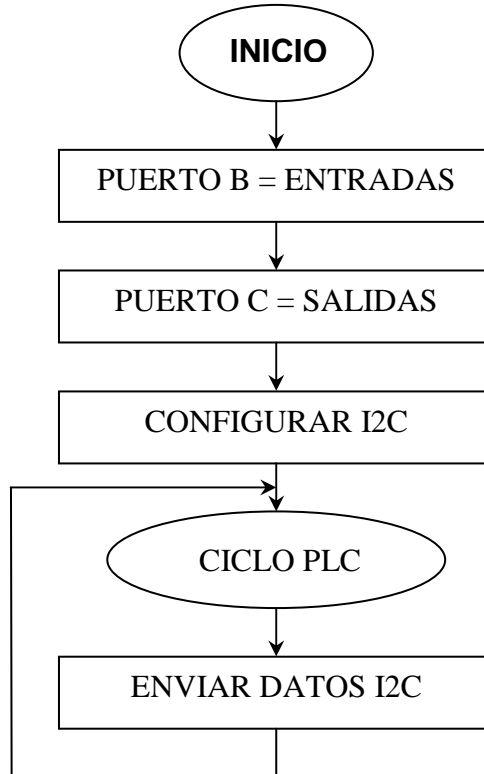


### 9.3.4 Diseño de software

**9.3.4.1 Arquitectura de la unidad de control del proceso.** Respecto al programa que se va a desarrollar en cada una de las unidades de control, se plantea el diagrama de flujo (DF), el cual indica la estructura que va a tener dicho programa. Esta estructura se diseñó con la intención que también fuera tipo modular a través de subrutinas, por las mismas razones de flexibilidad que ésta ofrece.

Con respecto a la unidad de control del proceso, se plantea el DF de la **Figura 77**

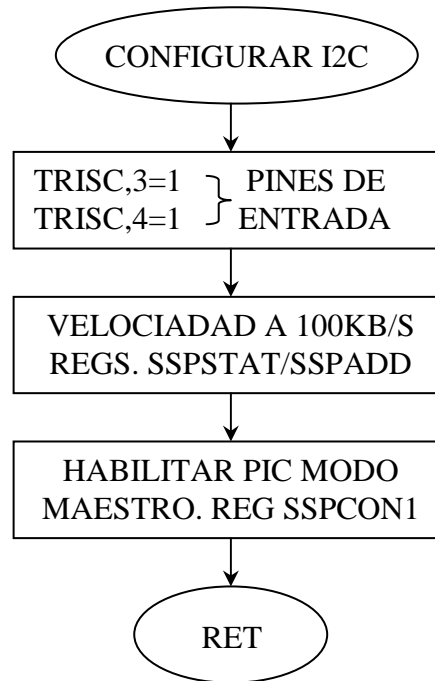
**Figura 77.** DF de la unidad de control del proceso



Como se muestra en la **Figura 77**, el diagrama posee las etapas que debe de tener el programa en la unidad de control principal; de esta forma, se puede apreciar el nivel de modularidad que posee este diagrama y por ende el programa, pues es fácil identificar sus etapas, y por lo tanto, identificar posibles errores o problemas.

Las dos primeras etapas de este diagrama no son críticas, pues no se complican en el programa. Sin embargo, la tercera etapa se debe de analizar para comprender la estructura de este protocolo de comunicación.

**Figura 78.** DF de subrutina de configuración del I2C modo maestro

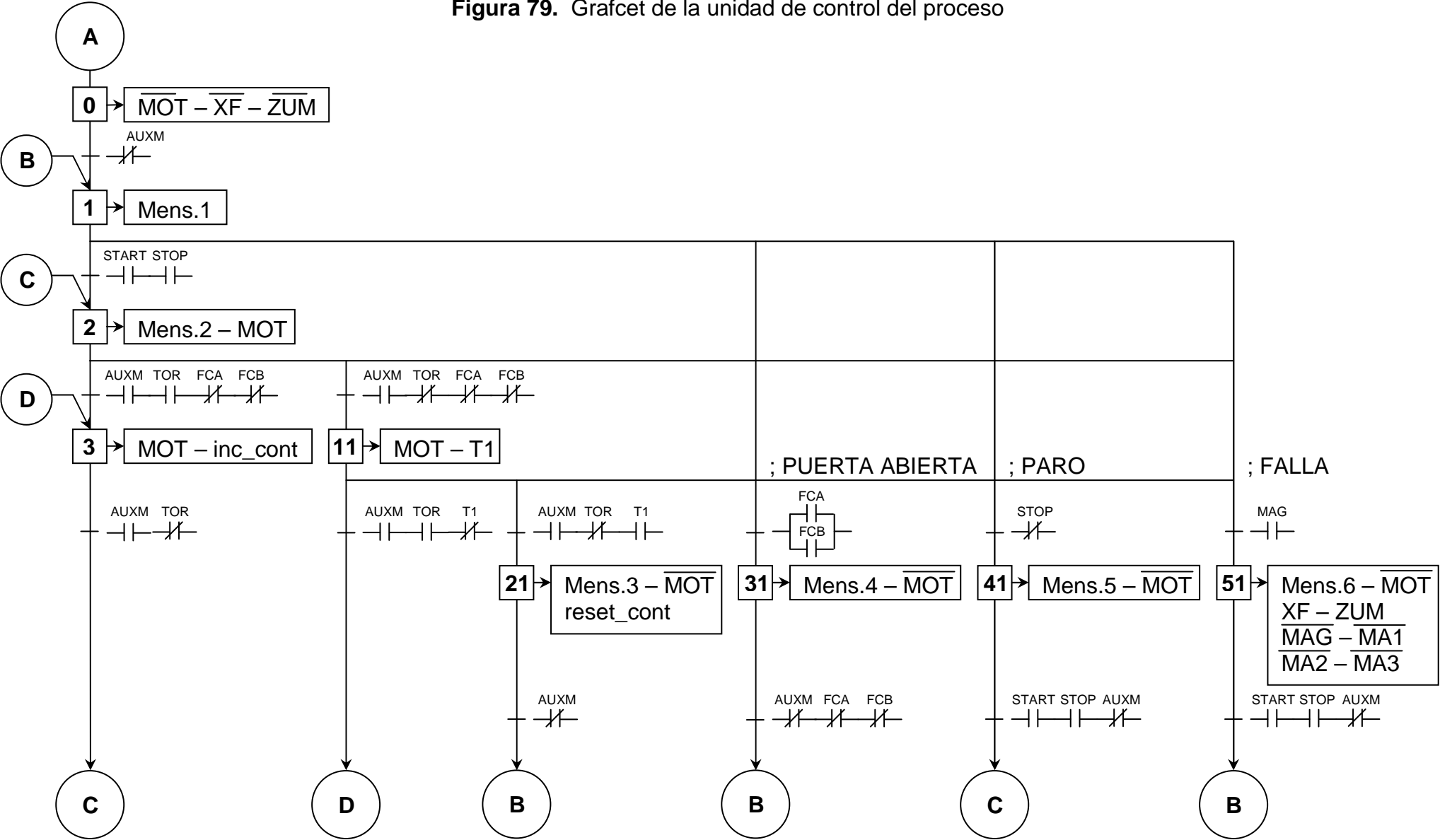


En las tres etapas de la **Figura 78**, se configuran los registros de los pines que se van a utilizar, así como también se especifica la velocidad de comunicación y la asignación de la unidad maestro.

Posteriormente, la siguiente etapa es en la que se desarrolla el programa de control del proceso, el cual se desarrolló en el lenguaje de programación industrial GRAFCET (**Figura 79**), luego se pasó este lenguaje a LADDER (**Apéndice M**), y por último, para poder ser programado en el microcontrolador, se pasó a lenguaje LÓGICO (**Apéndice N**).

En el lenguaje GRAFCET se plantea la estrategia de control, en el lenguaje LADDER se plantea la estrategia de alarmas, y en la etapa anterior y posterior a esta etapa del diagrama de flujo, se plantea la estrategia de comunicación, obteniendo de esta forma, el diseño de las tres estrategias principales que debe de poseer un PLC.

Figura 79. Grafcet de la unidad de control del proceso



En este DF (**Figura 79**), se muestra la forma como se va a controlar el flujo de las acciones del proceso mediante los eventos que se presenten, donde las transiciones son las condiciones, y las etapas son las acciones que se deben de ejecutar. Básicamente, lo que trata es el manejo completo del proceso. Los mensajes que aparecen en algunas etapas de este diagrama no corresponden a la unidad de control, sino a la unidad de visualización; sin embargo, se muestra en este diagrama para identificar en qué etapas se necesita visualizar algún mensaje al usuario, y luego, mediante el protocolo de comunicación, la unidad de visualización muestra el mensaje correspondiente a la etapa que se está ejecutando.

Los mensajes que se mencionan en la **Figura 79**, significan lo siguiente:

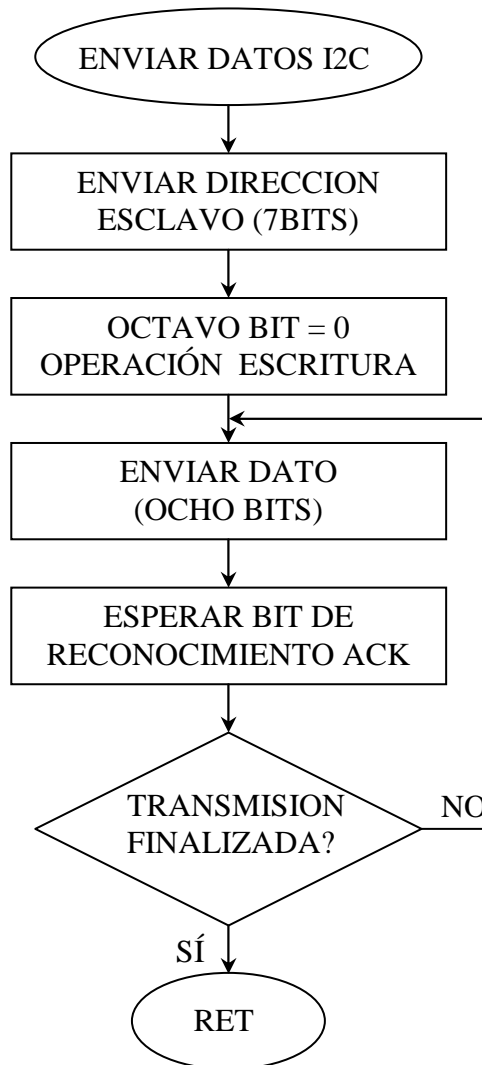
**Tabla 40.** Significado de los mensajes en el graficet

<b>Mensaje</b>	<b>Significado</b>
Mens.1	BIENVENIDO AL SISTEMA
Mens.2	INSERTAR MATERIAL (contador)
Mens.3	(contador) UNIDADES FRUTA PROCESADA
Mens.4	POR FAVOR CERRAR PUERTAS
Mens.5	MÁQUINA PARADA POR EL USUARIO
Mens.6	FALLA DE SISTEMA
Mens.A1	FALLA DE SISTEMA POR ATASCAMIENTO
Mens.A2	FALLA DE SISTEMA X ARRANQUE MOTOR
Mens.A3	FALLA DE SISTEMA POR FALLA TERMICA

En la **Tabla 40**, se muestra el significado de cada mensaje puesto en el graficet, a excepción de los mensajes de alarmas (mens.A1, A2 y A3), el cual es visualizado dependiendo del tipo de falla que se haya generado; sin embargo, esto se especifica en el LADDER de la Unidad de Visualización y Comunicación (**Figura 85**).



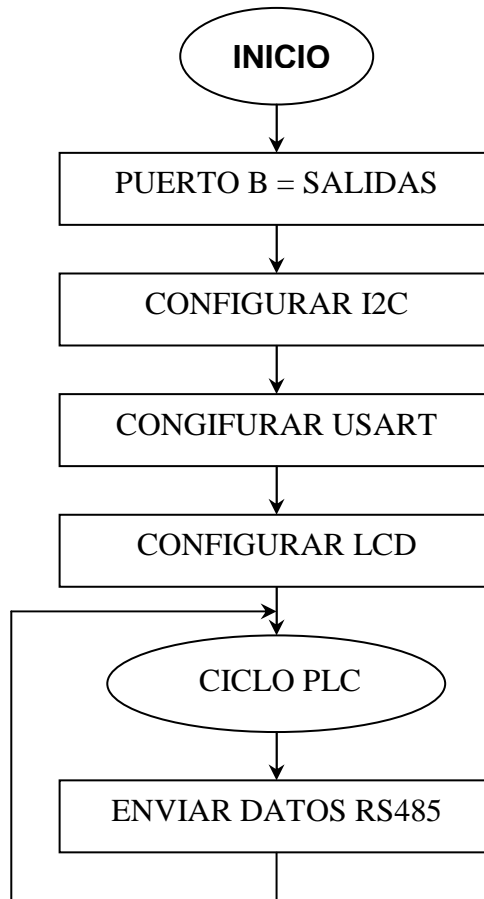
**Figura 80.** DF de subrutina del envío de datos por I2C



Finalmente, al terminar el ciclo del PLC, se envían los datos por el I2C a la otra unidad, los cuales son: El estado de las etapas, las entradas, las salidas, y las memorias de alarmas; es decir, todos los datos que se manejan en el proceso. Sin embargo, la unidad de visualización sólo trabaja con las memorias tanto de las etapas como las de alarmas para informar al usuario el estado de la máquina, pero recibe todos estos datos del proceso, para reenviarlos a la red RS485 que, en futuras mejoras, tal vez se necesiten.

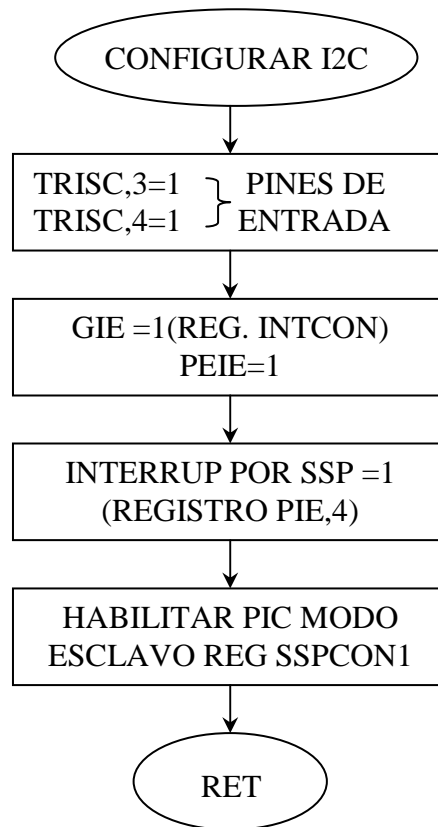
**9.3.4.2 Arquitectura de la unidad de comunicación y visualización.** El diseño de software de esta unidad se representa en el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 81.** DF de la unidad de comunicación y visualización



Como se explicó en el diseño de software de la unidad de control del proceso, la configuración de las entradas y las salidas no son complejas de desarrollar, y la configuración de la comunicación I2C cambia un poco, de la siguiente forma.

**Figura 82.** DF de subrutina de configuración del I2C modo esclavo



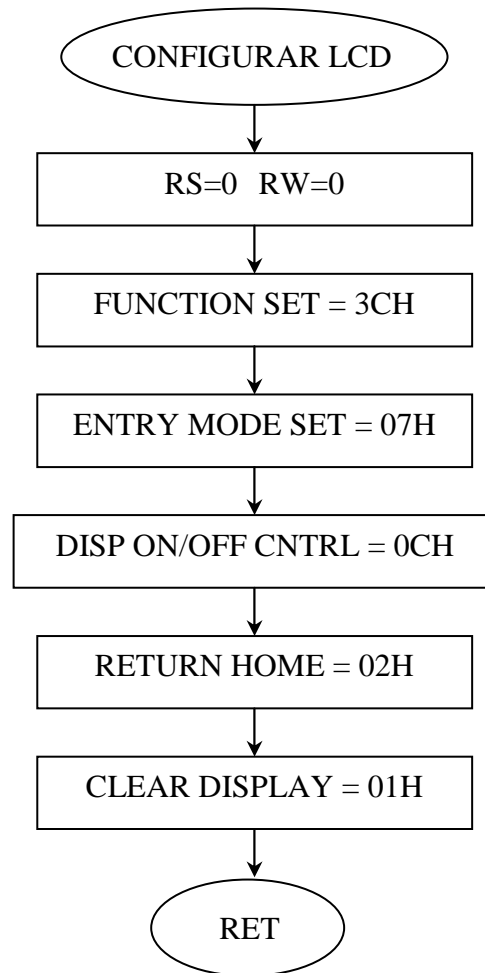
Como se aprecia en la figura anterior, y comparando con la **Figura 78**, no se necesita configurar la velocidad de transmisión, pues ésta es definida por la unidad maestro (unidad de control del proceso), y lo único que se configura es la habilitación de la interrupción por el puerto serial del I2C, pues de esta manera, cuando la unidad maestro le envía los datos a la unidad esclavo, éste atiende el llamado del maestro mediante dicha interrupción, y procede a recibir los datos.

**Figura 83.** DF de subrutina de configuración para la comunicación RS485



En el DF de la **Figura 83**, se muestra el esquema para configurar la comunicación serial para la red RS485, en donde se especifican los pines de transmisión y recepción, la velocidad de comunicación, el modo de comunicación (síncrono ó asíncrono), y la cantidad de bits a transmitir. De esta manera, se deja preparada la unidad de control para poder transmitir datos por esta red.

**Figura 84.** DF de valores de configuración del LCD

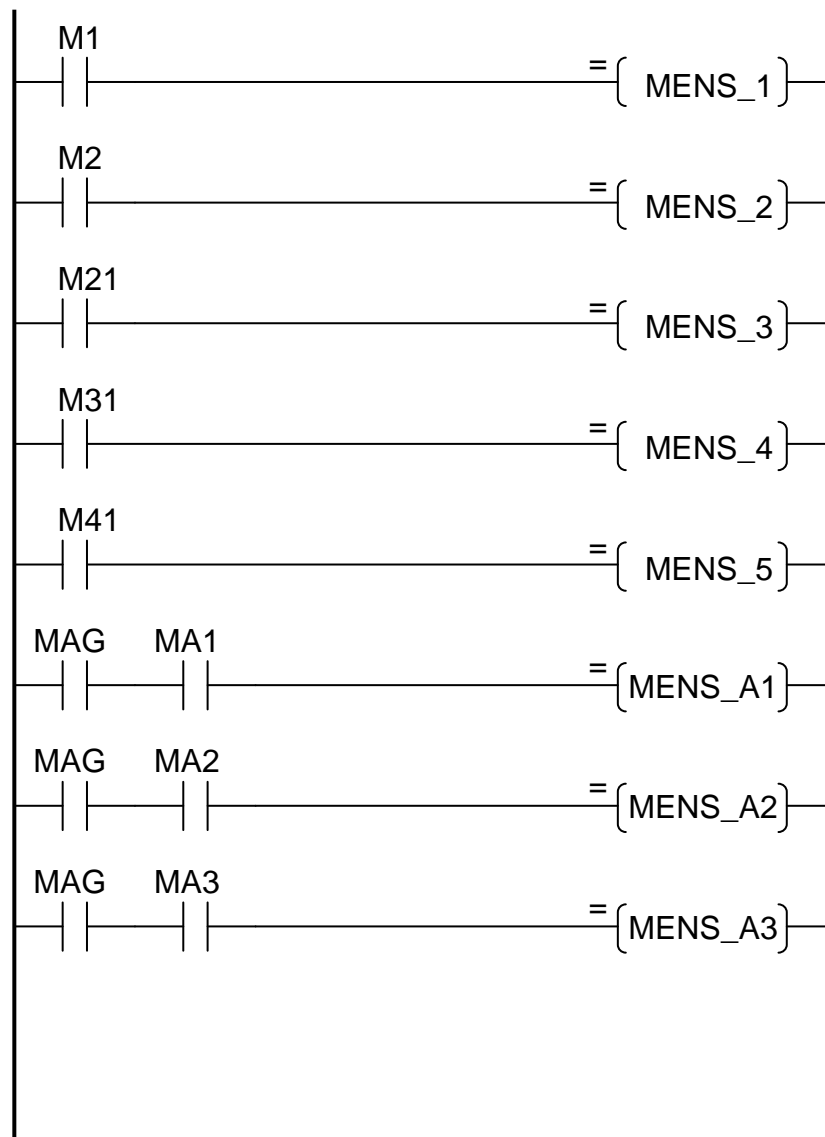


Ejecutando este diagrama de flujo para configurar el LCD, se logra que esta tenga las siguientes características:

- Bus de datos a 8 bits
- 2 Líneas de visualización
- Sentido de desplazamiento de la información a la derecha
- Cursor del display sin parpadeo y apagado
- LCD borrado y cursor en el inicio

Con estas características, el LCD está listo para empezar a ser operado. Para una mayor información sobre el uso de este display, refiérase al **Apéndice O**. Como se puede apreciar en la **Figura 81**, el diagrama de flujo del programa consta de la configuración de sus periféricos, y se realiza posteriormente el ciclo del PLC, el cual, por ser tan sencillo se realizó en LADDER:

**Figura 85.** LADDER de la unidad de control de visualización y comunicación

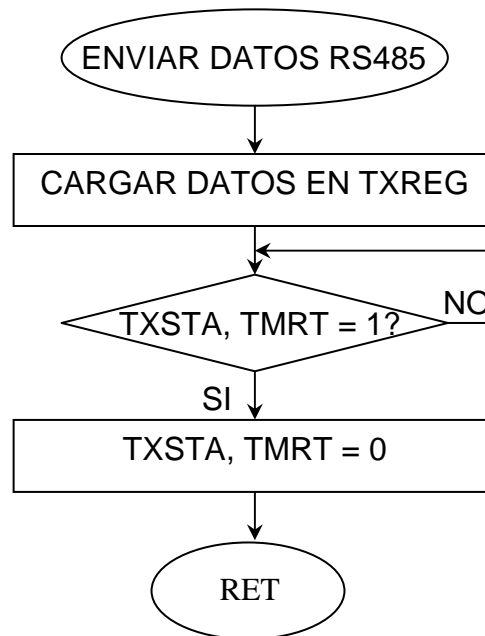


Para conocer el significado de cada mensaje, refiérase a la **Tabla 40**.

Como se puede apreciar en la **Figura 85**, el programa activa el mensaje correspondiente imprimiéndolo en el módulo LCD de acuerdo a la memoria o estado proveniente de la unidad de control del proceso, informando de esta manera al usuario el estado actual del proceso.

El diseño del DF para enviar los datos a la red RS485 se muestra a continuación.

**Figura 86.** DF de subrutina de envío de datos por RS485



Finalmente, con respecto a la transmisión de datos por RS485, se plantea el DF de la **Figura 86**, en donde el bit TMRT del registro TXSTA, es el que indica cuándo se han terminado de enviar los datos por el búfer; una vez realizado esto, el bit TMRT se debe de resetear para un nuevo envío de datos.

## 10. CONCLUSIONES

- ✓ Se comprendió un poco más acerca de los métodos utilizados para la recuperación de las aguas afectadas por la biodegradación por medio de materiales biológicos como lo es la toronja, donde se observó que nuestro trabajo contribuye a un mejor hábitat.
- ✓ Con la realización de este proyecto, se aprendió sobre los procesos de picado o reducción de tamaño de materiales fibrosos tales como la toronja, que por ser un producto alimenticio se aplicaron todos los requerimientos técnicos que esta fruta demanda para su manipulación, tal como el uso del acero inoxidable.
- ✓ Se aplicó el proceso de diseño concurrente adquirido en nuestra formación, como plataforma para el desarrollo de este proyecto basado en las necesidades del cliente, el cual garantizó que el producto se concibiera a la medida. Se puede decir también que este proceso es algo lento, pero seguro y confiable en sus resultados.
- ✓ Se tuvo la oportunidad de comprender mejor algunas máquinas existentes para hacer una adaptación de éstas a las necesidades del diseño final propuesto, lo cual permitió ver que ante una necesidad, ya existen soluciones similares o parecidas a lo que se requiere (en este caso, la picadora de toronjas con las licuadoras y molinos industriales).
- ✓ La utilización de materiales estándares y de fácil adquisición, nos permitió abaratar los costos de manufactura del diseño, de la misma manera que los componentes propios se concibieron lo más simples posible para de esta forma concebir un diseño óptimo y modular, capaz de adaptarse a las exigencias industriales.
- ✓ La realización de este proyecto reforzó enormemente la parte mecánica de nuestra formación académica, porque al entrar al diseño para manufactura y al diseño detallado se afianzaron muchos aspectos de este tipo, los cuales no se conocían muy bien.



- ✓ La utilización de herramientas CAD permitieron obtener una idea clara de lo que sería la apariencia física del producto, al permitir visualizar sus dimensiones reales para identificar las interacciones con el usuario, la distribución geométrica de sus componentes y su apariencia (diseño industrial).
  
- ✓ El diseño del sistema electrónico de este dispositivo nos enriqueció enormemente porque se tuvo en cuenta las protecciones necesarias que se deben de tener presentes para los diversos factores como son los ruidos eléctricos y armónicos generados en los ambientes industriales, y además, la concepción de una arquitectura modular para este subsistema facilitó tanto la programación (software) como la distribución de sus componentes (hardware), obteniéndose una arquitectura flexible capaz de aplicarse para otros casos, resultando más gratificante que la simple elección de un PLC.

## BIBLIOGRAFÍA

BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene. Manual del ingeniero mecánico. 8 ed. Barcelona: McGraw Hill, 1990. 6 p.

BEER, Johnston. Mecánica vectorial para ingenieros. 6 ed. Madrid: McGraw-Hill, 1997. 28 p.

BRENAN, J.; BUTTERS, R.; COWEEL, Lilley. Teoría de alimentos. 3 ed. Barcelona: Acribia S.A, 1997. 26 p.

Data sheet AN734 usando el PICmicro SSP como esclavo I2C [en línea]. Arizona: Microchip Technology Incorporated, 2002. [Consultado 15 septiembre 2006]. Disponible en Internet: <http://www.microchip.com/datasheet>

Data sheet microcontrolador PIC 18F252 [en línea]. Arizona: Microchip Technology Incorporated, 2001. [Consultado 5 octubre 2006]. Disponible en Internet: <http://www.microchip.com/datasheet>

DUDA, Walter H. Manual tecnológico del cemento. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A., 1977. 30 p.

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: Prentice-Hall, 1999. 68 p.

WAGANOLA, Nicolas. Trituración molienda y separación de minerales. Argentina: Alsina, 1956. 50 p.

RILEY, William; STURGUES, Leroy; MORRIS, Don H. Mecánica de materiales. 3 ed. México: Limusa Wiley, 2001. 245 p.

SHIGLEY, Joseph Edgard; MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. 5 ed. México: McGraw-Hill, 2000. 290 p.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. Product design and development. 2 ed. Boston: McGraw-Hill, 2000. 358 p.

USATEGUI A., José M.; YESA, Romero; ANGULO, Ignacio. Microcontroladores PIC diseño práctico de aplicaciones. Madrid: McGraw-Hill, 2000. 40 p.

## APÉNDICE

### Apéndice A. Productos DTC

#### Campo agrícola

En el campo Agrícola, DTC S.A. ha desarrollado el PD1000.

El **PD1000- Herbicida**, producto natural de acción fitosanitaria sobre las plantas no deseadas.

El **PD1000- Suelos** es un suplemento biológico dinamizador de origen natural ideal para nutrir en forma equilibrada todo tipo y clase de suelos en cualquier lugar y temperatura.

El **PD1000- Biodegradador** es un producto natural líquido de acción fitosanitaria, sin restricción para su uso agrícola y sello verde, que actúa sobre los residuos de cosecha.

**PD1000/2000 Fertilizante Foliar** recupera la capacidad productiva y la vitalidad natural de la planta.

#### Campo pecuario

DTC S.A. ofrece al mundo nuevas alternativas naturales y biodegradables de amplio espectro, que permiten la eliminación de productos químicos y mejoran ostensiblemente la productividad y la salud de los animales, que se han deteriorado, por la aparición de virus, bacterias, contaminación y otros factores de riesgo.

El **PD1000-Piscicultura** es un producto que al generar una oxigenación absoluta, reduce notablemente la densidad del agua, por lo que peces y camarones se desplazan sin mayor gasto de energía, lo que finalmente representa mejor peso (Carne).

**PD1000-Avicultura** en las explotaciones intensivas de origen Aviar, la higiene ambiental es el principal factor del rendimiento de la producción a niveles óptimos, pues de ello depende la protección de las aves al ataque frontal de todo tipo de enfermedades infecto contagiosas.

### **Campo Petrolero**

## **TRATAMIENTO EN DERRAMES DE PETRÓLEO CRUDO**

Éste producto representa el inicio de una nueva era, libre de productos tóxicos para el control de derrames de petróleo crudo a través del mundo. El poder tenso activo del **PD1000H – Súper** permite llegar hasta la parte más profunda de los derrames, decomponiéndolos molecularmente, haciendo el **carbono** asimilable por el suelo y, por ende, por la capa vegetal.

El **PD1000H – Súper**, puede soportar cambios drásticos en el pH

El **PD1000H – Súper** permanecerá inalterado por mucho tiempo lo que le permite cumplir con su función desinfectante, cuando se necesite.

El **PD1000H – Súper** no agrega color ni olor a las soluciones,

El **PD1000H – Súper**, es el resultado de muchos años de ardua investigación y desarrollo

**El PD1000 en el Sector Hídrico.** El Agua es un recurso vital para la existencia de las especies tanto humana como animal y vegetal. Sorprendentemente, los países con mayores recursos hídricos han ido perdiendo la generación, por efecto de la tala de cuencas y bosques, el uso de plaguicidas y herbicidas químicos y, principalmente, la muy poca conciencia del hombre en la recuperación, fomento y restauración de las fuentes naturales y su entorno.

**PD1000-Aguas.** Actualmente existen tecnologías alternativas, que se complementan con los tratamientos convencionales y que permiten una mayor eficiencia en el procedimiento. Una de las nuevas aplicaciones es el producto **PD1000-Aguas**, que al utilizarse sólo o como complemento de un sistema convencional, permite que los porcentajes de remoción sean mayores, trabajando como un antioxidante en el agua residual, facilitando la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos presentes en el producto. Funciona también como un coagulante, permitiendo la remoción de los sólidos.

Otra fortaleza del **PD1000-Aguas** para el tratamiento de aguas residuales es su poder bactericida, lo que permite una desinfección completa del efluente de la planta de tratamiento.

El producto PD-1000 Aguas, es un complejo orgánico (Biodegradable 100%), Compuesto elaborado a base de cítricos, cuya base principal es la GRAPEFRUIT, de la cual se utiliza la totalidad del fruto. No presenta ningún efecto secundario en animales de sangre caliente incluyendo el hombre.

### **Composición y aplicación**

El PD-1000 Aguas está compuesto de:

- Ácido ascórbico (Vitamina C) con las dos moléculas (95%)
- Glicerina USP
- Benzetonio (amonium quaternario)
- Alkyl Aril Alcohol
- Ácido cítrico
- Tocoferoles y Glucosa

Su Aplicación depende mucho del sitio que se va a remediar y se puede realizar por:

1. Gravedad
2. Aspersión (caso concreto del Tunjuelo)
3. Mezcla.

### **Cómo Funciona**

El Funcionamiento del PD-1000 Aguas, se fundamenta en el ROMPIMIENTO DE LA TENSION SUPERFICIAL de cualquier elemento, (sólido o líquido).

En este caso al romper la Tensión Superficial del espejo laminar de las lagunas del Tunjuelo, además de eliminar los patógenos aeróbicos y anaeróbicos, Gram positivos, Gram negativos e inclusive patógenos difíciles como el Bacillus Aureus, permite la entrada de Oxígeno y Ozono hasta la profundidad total de la laguna (El producto no genera Oxígeno ni ozono).

El PD-1000 Aguas vuelve menos densa el agua, precipita los sólidos suspendidos al fondo y cumple sus funciones. Esta solución no necesita ningún elemento externo físico que genere movimiento, agitación o aireación para cubrir todo el volumen a tratar, pues las moléculas que conforman el producto generan movimiento (levógiro).

### **Bondades de la solución**

El PD-1000 Aguas INTEGRALMENTE por su constitución, es un:

Bactericida (eliminación de patógenos)

Micocida (eliminación de hongos)

Viricida (eliminación de virus)

Antioxidante

Todo este conjunto elimina los olores que se producen por diferentes causas de una manera sencilla y rápida, así como la de descontaminar cualquier tipo de agua (residual o no residual). Por su alto índice comprobado de no tener efectos letales en los seres humanos, se puede considerar un bactericida de amplio espectro benéfico.

RESIDUALIDAD: Posee una amplia gama de residualidad, pues no reacciona con la materia orgánica (como sí sucede con los hipocloritos) cumpliendo la función de encapsulado (antioxidante) evitando malos olores.

Todos estos productos son fabricados en base a las frutas cítricas como lo es la toronja, la cual es una fruta que se caracteriza por contener muchos nutrientes entre los que se destaca su alto contenido de vitamina "C", esta empresa justifica el uso de la toronja como ingrediente clave de su producto, debido a que estudios hechos por científicos y biólogos han demostrado que este tipo de vitamina acompañada de otros elementos naturales (entre ellos la sustancia clave) componen un excelente nutriente y/o alimento, para las plantas y vegetales, el cual produce sobre estas un efecto regenerativo y reconstituyente cuando se le es suministrado.

## Apéndice B. Productos Competidores

### Molino de martillos Retsch SM-100



#### Molienda con efecto de corte

El molino de corte SM de RETSCH tritura de forma rápida y cuidadosa materiales y mezclas de materiales blandos, semiduros, elásticos y fibrosos. Es especialmente apropiado para la trituración previa por lotes o continua de materiales secos tales como partes de plantas, plásticos, piensos, especias, drogas, carbón vegetal, papel, cartón, etc. Los materiales de fibras largas como la paja y aquéllos voluminosos como los recipientes de plástico pueden triturarse en un solo ciclo de trabajo sin necesidad de trituración previa. La granulometría final depende del tipo de tamiz de fondo empleado y del material alimentado. Con plásticos se alcanzan por ejemplo granulometrías de aprox. 2 - 4 mm, con especias secas 0,25 - 1 mm.



*Cámara de molienda del SM 100 (rotor de corte paralelo con 3 cuchillas y 4 listones de corte dentro de la cámara de molienda)*

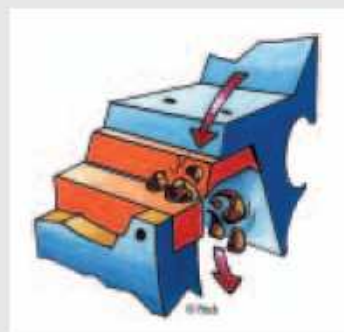
#### Información general

- trituración rápida y cuidadosa de materiales secos
- granulometría final según el tamiz de fondo usado
- 3 tipos de tolva para diferentes materiales
- poco calentamiento del material triturado
- trituración casi sin polvo
- herramientas de corte de fácil recambio, larga vida útil
- 2 años de garantía, marca CE

#### Funcionamiento del molino de corte SM 100

En este molino la trituración se realiza por corte y cizallamiento. El material de alimentación pasa por la tolva cayendo en la cámara de molienda. Allí entra en el campo de acción del rotor con sus 3 cuchillas de corte, y es triturado entre éstas y los cuatro listones de corte incorporados en la carcasa. El material permanece poco tiempo en la cámara de molienda; apenas alcanza un tamaño me-

nor al de la abertura de malla del tamiz, pasa a través del mismo al recipiente colector. La velocidad de 1390 rpm a 50 Hz (1690 rpm a 60 Hz) del rotor garantiza una trituración cuidadosa, rápida y casi sin polvo del material. El motor tiene una potencia 1500 watts. Utilizando el filtro manga o el filtro cilíndrico, el material pasa rápidamente al recipiente colector.



## Molino de martillos Retsch SM-2000



*Cámara de molienda del SM 2000 (con el rotor universal de 6 discos de corte tangencial potente)*



*Vista de la carcasa abatible del SM 2000*





**El molino de corte SM 2000 se suministra en dos versiones de diferente velocidad.**

La versión de 695 rpm (a 50 Hz, u 835 rpm a 60 Hz) se recomienda especialmente para materiales en pedazos grandes, termosensibles, y la versión de 1390 rpm (1690 a 60 Hz) para materiales pequeños y más fáciles de triturar.

La carcasa es abatible facilitando la limpieza de la cámara de molienda y

el cambio de los tamices de fondo. El original cierre central (patente DBP 4110239) permite bloquear y desbloquear de forma rápida y segura la parte superior de la carcasa y la puerta con un solo movimiento. Un interruptor de seguridad evita que el molino sea conectado cuando la puerta está abierta. El SM 2000 dispone además de un sistema de chequeo de seguridad electrónico con diagnóstico.

### Información general

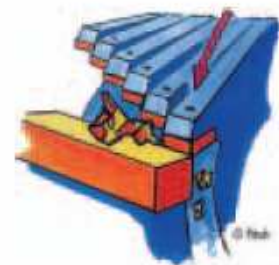
- trituración potente incluso de mezclas heterogéneas
- granulometría final definida
- poco calentamiento
- uso universal por su amplia selección de accesorios
- cierre central
- carcasa abatible
- fácil limpieza
- diseño robusto y seguro
- 2 años de garantía, marca CE

### Funcionamiento del molino de corte SM 2000

En el molino de corte SM 2000 la trituración se realiza por efecto de corte y cizallamiento. El material alimentado entra en el campo de acción del rotor, el cual lleva cojinetes a ambos lados, y es triturado entre éste y los listones de corte incorporados en la carcasa. El rotor de 6 discos consta de discos de corte reversibles de metal duro colocados en forma de espiral que van cortando el material

sucesivamente. Las cuchillas del rotor de corte paralelo realizan la trituración con una poderosa acción de corte.

Una masa móvil adicional en el eje del motor le da al SM 2000 su típica fuerza de arrastre, que sólo es alcanzada por motores de doble potencia motriz. El SM 2000 se suministra con motor de corriente trifásica o de corriente alterna de 1,5 KW.



Principio de funcionamiento del rotor de 6 discos

### Rotores para el SM 2000

**Para el SM 2000 hay 2 rotores a disposición: un rotor de 6 discos y un rotor de corte paralelo.**

El **rotor de 6 discos** con sus 18 placas de corte de metal duro, reversibles y recambiables, es de uso universal.

Aplicaciones con el SM 2000

a 1390 y 1690 rpm:

- productos biológicos
- virutas dúctiles de plástico o metal
- materiales previamente fragilizados
- productos no termosensibles

Aplicaciones con el SM 2000

a 695 y 835 rpm:

- films de plástico, textiles
- goma, basura especial
- basura clasificada doméstica y comunal
- piezas de plástico moldeadas
- basura electrónica libre de hierro y acero
- latas
- restos de alfombras
- granulados de plástico
- huesos artificiales para perros
- productos termosensibles



El **rotor de corte paralelo** es especialmente apropiado para materiales blandos, elásticos y fibrosos.

Aplicaciones con el SM 2000

a 1390 y 1690 rpm:

- partes de plantas, paja, heno
- pienso
- especias y drogas
- papel, cartón
- productos no termosensibles

Aplicaciones con el SM 2000

a 695 y 835 rpm:

- plásticos
- carbón vegetal
- especias y drogas ligeramente oleaginosas
- productos termosensibles

Tanto el rotor de 6 discos como el rotor de corte paralelo se suministran en versiones de acero St 52 **para la trituración libre de metales pesados.**

# Accesorios para el SM 100 y el SM 2000

El molino de corte SM 100 y el SM 2000 de alto rendimiento de RETSCH cuentan con una amplia variedad de accesorios para diferentes aplicaciones

## Elección de la tolva

El tolva estándar es de uso universal y muy apropiada para la mayoría de los materiales a granel y en pedazos. Su abertura de carga es de 80 x 75 mm.

Ejemplos de material de carga:

- goma, basura especial
- piezas de plástico moldeadas
- retales de cuero
- chatarra electrónica sin pedazos de metal grandes
- latas

El tolva para material oblongo está especialmente diseñada para materiales más largos que anchos. Su abertura de carga es de 30 x 80 mm.

Ejemplos de material de carga:

- restos de cables
- tubos de plástico
- restos de alfombras
- paja, pasto, etc.
- ramas, tallos, etc.

La tolva de cascada consta de una protección antirebote que la hace ideal para la carga segura de material a



1. Tolva estándar  
2. Tolva material oblongo  
3. Tolva de cascada

granel. La abertura de carga de esta tolva es de 20 x 80 mm. Para materiales con un tamaño de grano máximo de 20 mm.

Ejemplos de material de carga:

- materiales a granel esparcibles
- pellets de piensos
- nueces
- maíz

## Elección del tamiz de fondo

El tamiz de fondo se selecciona según el material alimentado y la granulometría final deseada. Para trituraciones previas se puede trabajar sin tamiz de fondo. En los tamices con una abertura de malla de hasta 2 mm ésta es de tipo Conidur, y a partir de 4 mm es cuadrada. Los tamices se suministran de forma estándar en acero inoxidable. Para la molienda libre de metales pesados se suministran tamices de acero St 1303/1.0353.

## Otros accesorios

Para caudales más grandes puede cambiarse el recipiente colector de 5 litros por uno de plástico de 30 litros. Para conducir mejor la corriente de aire puede usarse un filtro manga, o bien un filtro cilíndrico de chapa Conidur con o sin filtro de polvo. La utilización de los filtros acelera el proceso de trituración al evitar aglomeraciones de material.

## Especificaciones técnicas del molino SM-100 y SM-2000

Prestaciones	SM 100 S	SM 100 C	SM 2000	SM 2000
			versión baja velocidad	versión alta velocidad
Aplicación	trituración por corte		trituración por corte	
Material alimentado	blando, semiduro, elástico, fibroso		blando, semiduro, tenaz, elástico, fibroso	
Granulometría de entrada*	máx. 60 x 80 mm		máx. 60 x 80 mm	
Graulometría final**	0,25 - 20 mm		0,25 - 20 mm	
Recipiente colector	5 litros (estándar) 30 litros (opcional)		5 litros (estándar) 30 litros (opcional)	
Rendimiento*	0,2 - 50 kg/h		0,2 - 50 kg/h	
Rotor de 6 discos	-		opcional	
Rotor de corte paralelo	estándar		opcional	
Datos técnicos				
Motor	corriente trifásica y alterna	corriente trifásica y alterna	corriente trifásica	corriente trifásica y alterna
Motor-freno	no	sí	no	no
Velocidad del motor a 50 Hz	1390 rpm	1390 rpm	695 rpm	1390 rpm
Velocidad del motor a 60 Hz	1690 rpm	1690 rpm	835 rpm	1690 rpm
Potencia nominal	1500 W	1500 W	1500 W	1500 W
A x H x F (con soporte y tolva estándar)	aprox. 560 x 1560 x 700 mm		aprox. 550 x 1805 x 600 mm	
Peso neto	aprox. 64 kg	aprox. 68 kg	aprox. 119 kg	aprox. 88 kg
Valores de ruido (medición según norma DIN 45635-31-01-KL3)				
Valores de emisión puesto de trabajo	L <sub>paq</sub> 81 dB(A)		L <sub>paq</sub> 79 dB(A)	
Nivel acústico	L <sub>WA</sub> 84 dB(A)		L <sub>WA</sub> 87 dB(A)	
Condiciones de medición:				
Material alimentado	pellets de piensos		mantillo de corteza de árbol	
Granulometría de entrada	hasta 15 mm		< 100 mm	
Tamiz de fondo	0,5 mm abertura Conidur		4 mm abertura cuadrada	

\* Según el material alimentado y la tolva utilizada. \*\* Según el tamiz de fondo utilizado.

## Molino de martillo FITZ SDAS-06

### APLICACIONES TÍPICAS

- Molienda gruesa y destazamiento de material seco.
- Reducción de tamaño de material humedo.
- Refinado de material aglomerado, humedo y/o seco.
- Pulverizado
- Mezclado de sólidos / líquidos.
- Granulado de material compactado.
- Procesado de lodos y líquidos.
- Procesado y acondicionamiento de materiales húmedos y/o secos.
- Formación de pures y emulsificado.





### Conjunto de cuchillas para el FITZ SDAS-06



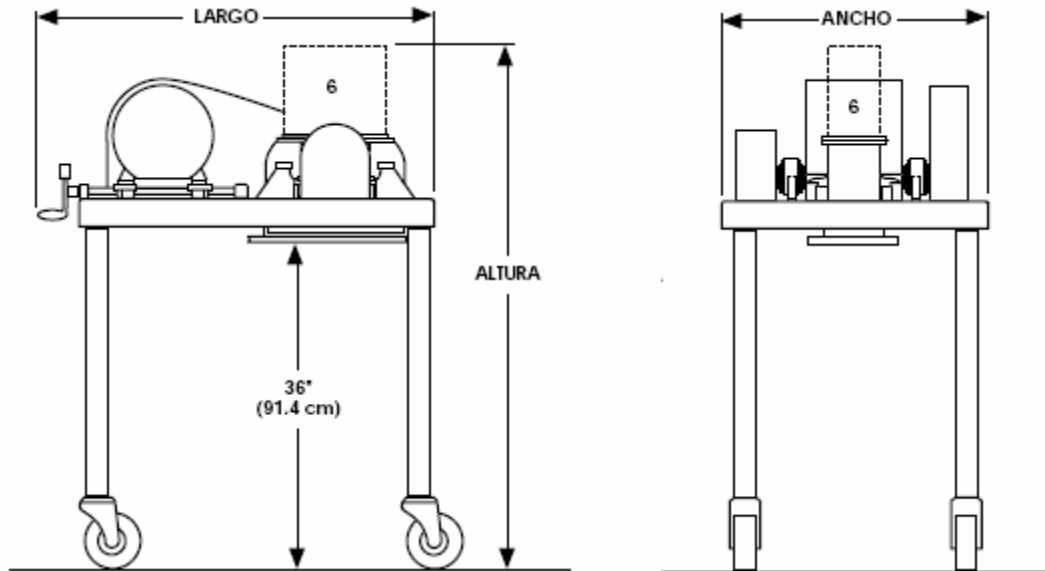
### Tipos de rotor



## Tipos de gargantas de alimentación



## Especificaciones Técnicas



MODELO	CAMARA			ROTOR			LIMITE DE LA MAQUINA		DIMENSIONES (APROX.) <sup>5</sup>		
	FACTOR DE CAPACIDAD <sup>1</sup>	ANCHO NOMINAL	AREA DE CRIBA	DIAMETRO	NUMERO DE CUCHILLA	FACTOR DE VELOCIDAD DE PUNTA <sup>2</sup>	MÁXIMO RPM <sup>3</sup>	MÁXIMA POTENCIA <sup>4</sup>	LARGO	ANCHO	ALTURA <sup>6</sup>
DAS06	1.0	6	109	10.5	16	2.75	7,200	15	42	30	66
		15.24	703	26.67					1.07	.76	1.68

## Apéndice C. Molino de rodillos

**Ángulo de separación.** Se denomina así al formado por las tangentes a las caras de los rodillos en el punto de contacto con la partícula, y es importante para la especificación del tamaño del par de rodillos de trituración necesarios para realizar un trabajo determinado.

Si A es el ángulo de separación,  $D_r$  el diámetro medio de las partículas del material a triturar,  $D_p$  el diámetro medio de las partículas finales y  $D_f$  el diámetro de los rodillos, se puede demostrar que:

$$\cos \frac{A}{2} = \frac{D_r + D_p}{D_r + D_f}$$

Y, en el caso límite en que las partículas sean atraídas por fricción hacia los rodillos:

$$\tan \frac{A}{2} = \mu$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre las partículas y los rodillos.

**Capacidad de los rodillos.** Se conoce como capacidad teórica de estas unidades al volumen de la corriente continua de producto descargada por los rodillos.

En una máquina con rodillos de  $D_r$  metros de diámetro, L metros de longitud de cara,  $D_p$  metros de separación y una velocidad de los rodillos de N r.p.m, la capacidad volumétrica (Q) viene dada por:

$$Q = \frac{\pi D_r N D_p l}{60} m^3 s^{-1}$$

Si se conoce la densidad del granel de la corriente de descarga, se puede estimar la velocidad de flujo másico aproximada. En la práctica, la capacidad real vale 0,1 a 0,3 veces la teórica. Los rodillos trituradores se utilizan para una trituración intermedia y se usan mucho en la molienda de trigo y en el refinado de chocolate. En otros casos, la superficie de los rodillos puede ser estriada, para facilitar la fricción y la separación. La eficacia del molino y la calidad de las semolinas producidas pueden verse influidas por la orientación de las estrías.

Para la trituración de productos más frágiles, se usan trituradoras de rodillos sencillas, que comprimen la carga entre el rodillo y un plato estacionario.



## Apéndice D. Molinos gravitatorios (molino de bolas)

Para conseguir una molienda eficaz en esta clase de molinos, no se debe de superar la velocidad crítica, que se define como aquella a la que una bola pequeña esférica, situada dentro del molino, empieza a ser centrifugada. Se puede demostrar que la velocidad crítica **N<sub>c</sub>**, en r.p.m., viene dada por:

$$\mathbf{N_c} = \frac{42 \times 3}{(D)^{1/2}}$$

Siendo D el radio de los molinos; en la práctica, la velocidad óptima se sitúa alrededor del 75 % de la velocidad crítica, y se debe determinar en las condiciones en que operan en la instalación industrial.

Una variante de molino de bolas convencional que se está utilizando de manera creciente en las trituraciones muy finas es el molino de bolas vibratorio, en el que la cámara que contiene las bolas vibra por la acción de dos pesos desiguales colocados cada uno en un extremo del eje de un motor eléctrico. La energía impartida por las paredes de la cámara de trituración se transmite al medio y al producto a triturar, que llena los espacios que quedan entre las piezas trituradoras. En estos molinos, puede variarse el volumen vacío usando bolas de distinto tamaño. En el molino de Vibro energy, el volumen vacío utilizando esferas, es del 37%, en tanto que si se emplea cilindros se reduce al 25%.

Cuanto más bajos sean los volúmenes vacíos, más delgadas resultan las capas de producto atrapado y tanto mejores son las condiciones para una molienda ultra fina. El medio triturador vibra sin movimiento relativo apreciable, de manera que las fuerzas de cizalla son mínimas, por lo que las eficaces son las de impacto. Los molinos vibratorios se han encontrado también en un amplio uso como mezcladoras y dispersoras.

## Apéndice E. Desintegración de sustancias fibrosas

**Energía necesaria para la desintegración de los sólidos.** Pocos son los trabajos publicados, de carácter fundamental, sobre el consumo de energía en las operaciones de desintegración, como el corte, el desmenuzamiento o el troceado. Algo más se sabe acerca de la ruptura de sustancias frágiles. En la fragmentación se distinguen dos etapas:

- Fractura inicial a lo largo de grietas ya existentes o de planos de unión en la masa del material a fragmentar.
- Formación de nuevas grietas o puntos de fisura, seguida de fractura a lo largo de las mismas.

Una partícula se puede definir como un elemento discreto de un sólido, cualquiera que sea su tamaño.

Cuando a una partícula se le somete a un esfuerzo (fuerza/área), por aplicación de una fuerza, **primero se deforma y luego se rompe.**

Según la naturaleza de la fuerza y la resistencia mecánica (el conjunto de la propiedades que definen el comportamiento de un material sólido, en estas circunstancias), el material puede: (i) sufrir una deformación elástica, es decir deformarse dentro del límite de elasticidad y recobrar su forma original cuando deja de actuar, (ii) sobrepasar el límite elástico y sufrir una deformación permanente (deformación no elástica), si el esfuerzo aplicado es lo bastante grande.

A medida que aumenta el esfuerzo aplicado, va creciendo la deformación no elástica, hasta que se supera el umbral de fluencia. La partícula puede entonces romperse rápidamente (materiales frágiles) o continuar deformándose (materiales dúctiles) hasta que finalmente se rompe por haber alcanzado el esfuerzo límite de rotura. El esfuerzo límite constituye una propiedad característica del material, pero también influye en la mayor o menor facilidad de desintegración, y por tanto, en la energía precisa para reducir su tamaño, la estructura y la forma de la partícula.

Las partículas contienen planos débiles a lo largo de los cuales se puede iniciar la rotura cuando son sometidas a esfuerzo de cizalla. En las partículas grandes, la rotura puede producirse a lo largo de las fisuras preexistentes (planos de fractura). En las más pequeñas, tienen que serenarse nuevos planos de fractura, a partir de puntos de inicio producidos bajo el influjo del esfuerzo. Como las partículas más pequeñas ofrecen menos fisuras preexistentes, su esfuerzo de rotura es más alto. La energía precisa para la rotura de las partículas crece a medida que disminuye su tamaño. Las deformaciones elásticas no son valiosas en la trituración; consumen energía, pero no inician la rotura de las partículas.

La energía almacenada en el proceso de deformación se pierde durante la recuperación (cuando el esfuerzo cesa). La deformación elástica y la fracción interpartículas convierten a la reducción de tamaño en operación muy ineficiente, de un rendimiento energético pobre.

En general, se acepta que sólo una pequeña parte de la energía consumida por una instalación de desintegración se utiliza en la rotura. Sólo una pequeña fracción de la energía suministrada a la máquina aparece como una nueva energía superficial en el sólido.

Se han citado al respecto cifras inferiores del 2%, lo que equivale decir que la molienda es una operación muy ineficiente. La mayor parte de la energía consumida se pierde en deformar las partículas dentro de sus límites de elasticidad y en la fricción interpartículas. Esta energía perdida se desprende en forma de calor que, según se ha visto, puede causar el deterioro térmico de los productos.

Los estudios teóricos sugieren que la energía  $dE$  necesaria para producir un pequeño cambio,  $dx$ , de tamaño en la unidad de masa del material a triturar se puede expresar como una función exponencial de su tamaño. Esta ecuación ha sido muy utilizada.

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x^n}$$

**Ley de Ritteinger (1987).** Ritteinger consideró que, durante la molienda de los sólidos, la energía necesaria debe de ser proporcional a la nueva superficie producida y dio a  $n$  un valor de 2.

Por lo tanto:

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x^n}$$

Y por integración

$$E = K \left[ \frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right]$$

Donde,  $x_1$ , es el tamaño medio inicial del material de alimentación,  $x_2$  el tamaño medio final del producto.  $E$  es la energía por unidad de masa necesaria para producir la nueva superficie, midiéndose corrientemente en caballos hora ton.  $K$  es la llamada constante de Ritteinger, que tienen un valor determinado para cada producto y cada aparato concretos.

La ley de Ritteinger se cumple bien en la molienda fina, en la que aumenta mucho la superficie.

**Ley de Pick.** Kick consideró que la energía necesaria para producir una reducción de tamaño dada era proporcional a la relación de reducción de tamaño, para lo que es necesario que  $n=1$ , en la ecuación de Ritteinger. Con lo que.

O bien

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x}$$

$$E = K \ln \frac{x_1}{x_2}$$

Siendo  $x_1/x_2$  la relación de tamaño.

La ley de Kick se cumple mejor en la trituración grosera, en la que la mayor parte de la energía se utiliza para la fractura siguiendo grietas preexistentes.

Mide la energía necesaria para deformar las partículas sin superar su límite elástico.

La energía necesaria calculada por la ley de Kick resulta demasiado pequeña para muchas operaciones de trituración; la estimada por la ley de Ritteinger resulta excesiva.

### **Tercera Ley de Desintegración: Ley de F. C. Bond (1952)**

Según Bond,  $n$  tiene un valor de  $3/2$ , por lo que

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{K}{x^{3/2}}$$

O bien

$$E = 2K \left[ \frac{1}{(x_2)^{1/2}} - \frac{1}{(x_1)^{1/2}} \right]$$

Cuando  $x_1$  y  $x_2$  se miden en micrómetros y  $E$  en kWh/ tonelada americana (907,16 kg).

$$K = 5E_i$$

Donde,  $E_i$  es el índice de trabajo de Bond, es decir, la energía necesaria para reducir la unidad de masa de la sustancia, desde un tamaño de partícula infinito, hasta un tamaño tal que el 80% pase por un tamiz de 100 micrómetros de apertura de malla. El índice de trabajo de Bond se obtiene en ensayos de laboratorio con el material de alimentación. Esta tercera teoría describe bastante bien las moliendas groseras, intermedias y finas de muchos materiales.

## Apéndice F. Constante de NEUBER

La constante de Neuber denotada por  $\sqrt{a}$ , es un valor que se requiere para poder obtener la sensibilidad a las muescas de un material, y así obtener el factor de concentración de esfuerzos  $K_f$  cuando se diseña un eje de transmisión que está sujeto a carga de flexión y torsión. El valor de  $\sqrt{a}$  se obtiene por tablas, en base a la resistencia última del material  $S_{ut}$  con que se piensa fabricar el eje. Para el caso de la flecha, el material con el que se diseñó la pieza fue de acero inoxidable 304 recocido en hojas; la siguiente tabla muestra el valor de Neuber para este material.

$S_{ut}$ (kpsi)	$\sqrt{a}(in^{0.5})$
50	0,130
55	0,118
60	0,108
70	0,093
80	0,080
<b>85</b>	<b>0,075</b>
90	0,070
100	0,062
110	0,055
120	0,049
130	0,044
140	0,039
160	0,031
180	0,024
200	0,018
220	0,013
240	0,009

Constante de Neuber para aceros

## Apéndice G. Soporte y rodamientos

### SOPORTES CON RODAMIENTO DEL TIPO SILLETA (PILLOW BLOCK)

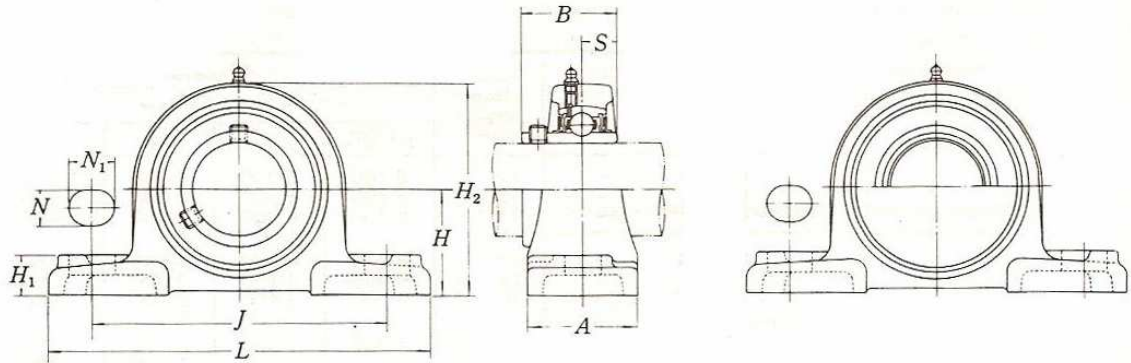
Tipos UCP 2, UCP 3, UCP X

Tipo con agujero cilíndrico y tornillo de fijación.

Diámetro del Eje 12~60 mm.

Con tapa de acero prensado

ZUCP+P  
ZUCP+PE



Diámetro del Eje (mm)	Números de Soporte	Dimensiones (mm)													Métrica del Tornillo de Anclaje
		L	A	J	H <sub>1</sub>	H	N	N <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	B	S	A <sub>s</sub>	A <sub>c</sub>	H <sub>3</sub>	
12	UCP 201	127	38	95	15	30.2	13	19	62	31	12.7	44.5	—	—	M 10
15	UCP 202	127	38	95	15	30.2	13	19	62	31	12.7	44.5	—	—	M 10
17	UCP 203	127	38	95	15	30.2	13	19	62	31	12.7	44.5	—	—	M 10
20	UCP 204	127	38	95	15	33.3	13	19	65	31	12.7	44.5	62	69	M 10
25	UCP 205	140	38	105	16	36.5	13	19	70	34	14.3	48	70	76	M 10
	UCP 305	175	45	132	16	45	17	20	83	38	15	—	78	89	M 14
	UCP X05	159	51	119	16	44.4	17	21	83	38.1	15.9	53	—	—	M 14
30	UCP 206	165	48	121	18	42.9	17	21	83	38.1	15.9	53	74	87	M 14
	UCP 306	180	50	140	19	50	17	20	94	43	17	—	84	99	M 14
	UCP X06	175	57	127	18	47.6	17	21	93	42.9	17.5	60.5	—	—	M 14
35	UCP 207	167	48	127	19	47.6	17	21	94	42.9	17.5	59.5	80	97	M 14
	UCP 307	210	56	160	21	56	17	25	103	48	19	—	90	110	M 14
	UCP X07	203	57	144	19	54	17	26	104	49.2	19	70	—	—	M 14
40	UCP 208	184	54	137	19	49.2	17	23	100	49.2	19	69	90	104	M 14
	UCP 308	220	60	170	23	60	17	27	116	52	19	—	100	122	M 14
	UCP X08	222	67	156	21	58.7	20	28	112	49.2	19	70	—	—	M 16
45	UCP 209	190	54	146	20	54	17	23	108	49.2	19	69	90	114	M 14
	UCP 309	245	67	190	25	67	20	30	128	57	22	—	106	136	M 16
	UCP X09	222	67	156	22	58.7	20	29	115	51.6	19	75.5	—	—	M 16
50	UCP 210	206	60	159	22	57.2	20	25	114	51.6	19	74.5	98	120	M 16
	UCP 310	275	75	212	28	75	20	35	143	61	22	—	114	149	M 16
	UCP X10	241	73	171	25	63.5	20	30	126	55.6	22.2	77	—	—	M 16
55	UCP 211	219	60	171	22	63.5	20	25	126	55.6	22.2	76	100	133	M 16
	UCP 311	310	80	236	31	80	20	38	154	66	25	—	120	159	M 16
	UCP X11	260	79	184	28	69.8	25	30	139	65.1	25.4	90	—	—	M 20
60	UCP 212	241	70	184	25	69.8	20	25	138	65.1	25.4	89	114	145	M 16
	UCP 312	330	85	250	33	85	25	38	165	71	26	—	130	169	M 20
	UCP X12	286	83	203	30	76.2	25	35	151	65.1	25.4	91	—	—	M 20

Observaciones La rosca de los engrasadores es 1/4-28 UNF.

**Ficha Técnica Sello SEALCO Tipo 650.** Sello mecánico de simple efecto, con resorte cónico dependiente del sentido de rotación. Facilita una gran combinación de materiales. Un sello muy utilizado en la industria especialmente en espacios muy reducidos y para aplicaciones generales.



#### **MATERIALES**

**CUERPO DEL SELLO:** AISI 316

**CARA ROTATORIA:** Carbón grado Químico o Metalizado, Carburo de Silicio (RB), Carburo de Tungsteno (Ni).

**ASIENTO ESTACIONARIO:** Carburo de Silicio (RB), Cerámica, Carbón grado Químico o Metalizado, AISI 316, AISI 420

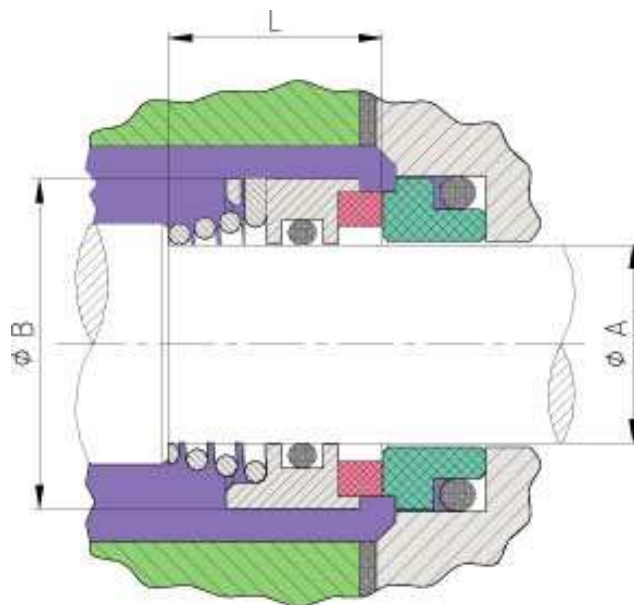
**ELASTÓMEROS:** Viton encapsulado en PTFE, Kalrez, Viton, EPDM

#### **VENTAJAS**

- Gran capacidad autoalineante.
- Disponible en medidas no estándar.
- Repuestos de fácil adquisición y a bajo costo.
- Menor sensibilidad de desvíos axiales.



## SEALCO



### RANGOS DE OPERACIÓN

**PRESIÓN:** Vacío a 150 psig (10 bar)

**TEMPERATURA:** -20°F a 450°F (-29°C a 232°C)\*

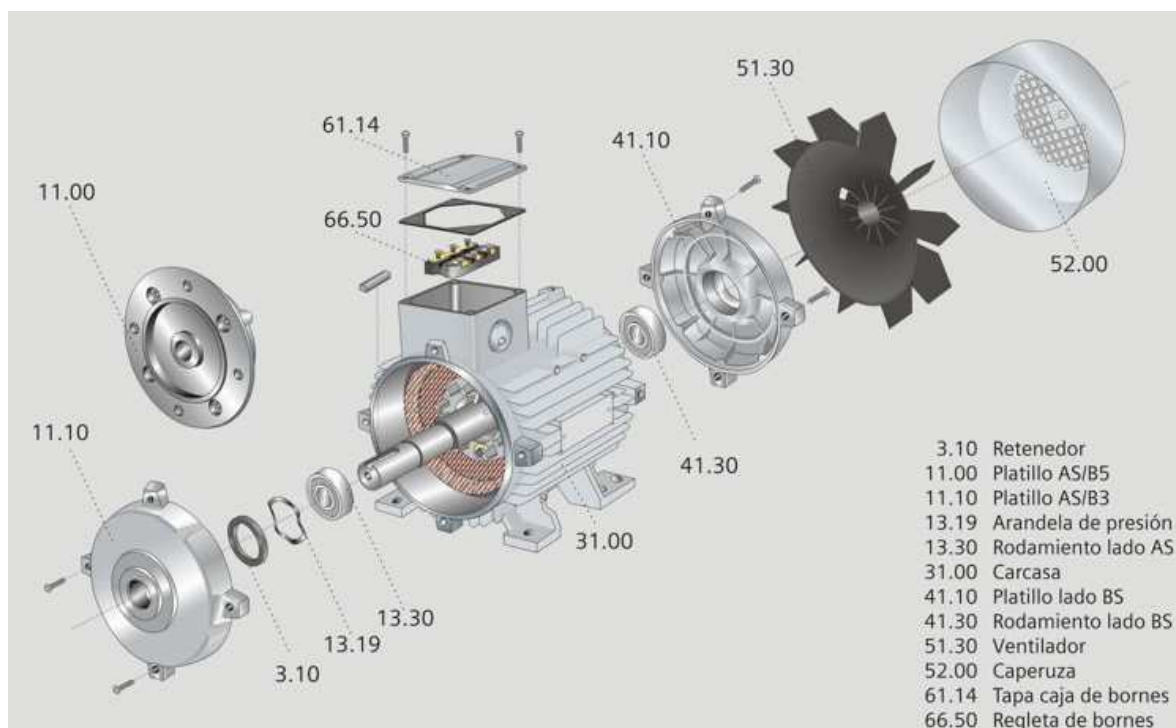
**VELOCIDAD:** 3940 fpm (20 m/s)

- Dependiendo del material del O'ring

DIAMETRO DE JE		DIAMETRO EXTERNO		LONGITUD DE OPERACIÓN	
A		B		L	
pulgs	mm	pulgs	mm	pulgs	mm
1/2"	12	0.826	21.00	0.649	16.50
5/8"	14	1.023	26.00	0.649	16.50
	16	1.023	26.00	0.708	18.00
3/4"	18	1.220	30.99	0.866	22.00
	20	1.299	33.00	0.866	22.00
7/8"	22	1.299	33.00	0.866	22.00
	24	1.417	36.00	0.925	23.50
1"	25	1.417	36.00	1.043	26.50
	28	1.574	40.00	1.043	26.50
1-1/8"	30	1.811	46.00	1.043	26.50
1-1/4"	32	1.811	46.00	1.122	28.50
	33	1.929	49.00	1.122	28.50
1-3/8"	35	1.929	49.00	1.122	28.50
1-1/2"	38	2.086	53.00	1.318	33.50
1-5/8"	40	2.204	56.00	1.417	36.00
	43	2.401	61.00	1.515	38.50
1-3/4"	45	2.401	61.00	1.555	39.50
1-7/8"	48	2.519	64.00	1.771	45.00
2"	50	2.598	66.00	1.771	45.00
2-1/8"	54	2.795	71.00	1.850	47.00
2-1/4"	55	2.992	76.00	2.165	55.00
	58	3.070	78.00	2.165	55.00
2-3/8"	60	3.070	78.00	2.165	55.00
2-1/2"	63	3.267	83.00	2.165	55.00
2-5/8"	65	3.307	84.00	2.165	55.00
	68	3.543	90.00	2.165	55.00
2-3/4"	70	3.543	90.00	2.244	57.00
2-7/8"	73	3.661	93.00	2.441	62.00
3"	75	3.858	98.00	2.441	62.00
3-1/8"	78	3.937	100.00	2.441	62.00
3-1/4"	82	4.055	103.00	2.441	62.00

Tabla de selección de sellos

## Apéndice I. Especificaciones técnicas del motor 1LA7 112-4YA60



Vista explosionada del motor

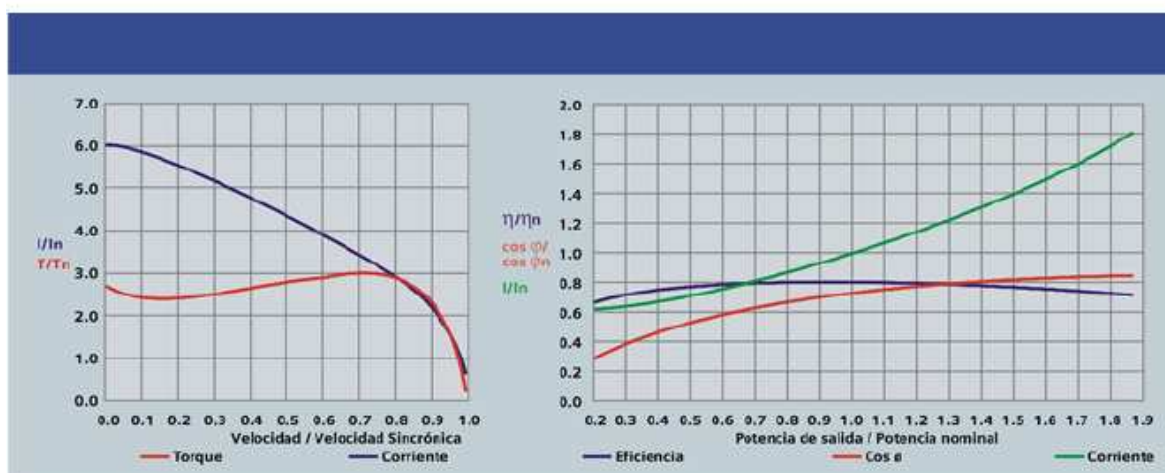


Aspecto físico

# CARACTERISTICAS TECNICAS MOTOR 1LA7 112-4YA60

Potencia Nominal (HP)	5.00	Potencia Nominal (kW)	3.73
Factor de Servicio	1.15	Frecuencia (Hz)	60
Voltaje Nominal (V)	220 / 440	Intencidad Nominal (A)	15,80 / 7,90
Intencidad a Factor de Servicio	17,5/8,8	Intencidad de Arranque	6.50
Numero de Fases	3	Velocidad Sincronica (rpm)	1800
Velocidad Nominal (rpm)	1740	Factor de Potencia a Carga Nominal	0.78
Eficiencia de Carga Nominal (%)	80.50	Torque Nominal (Nm)	20.47
Torque de Arranque	2.30	Torque Maximo	2.90
Momento de Inercia (kg/m2)	0.00580	Clase de Aislamiento	F
Tamaño Constructivo	IEC 112M	Grado de Proteccion Mecanica	IP55
Ejecucion	B3	Rodamiento Lado AS	6206-2Z/C3
Rodamiento Lado BS	6205-2Z/C3	Peso (kg)	28.70

## CURVAS CARACTERISTICAS MOTOR 1LA7 112-4YA60



## Apéndice J. Transferencia de bit's en el bus I2C

**Tipos de red que se pueden desarrollar en el I2C.** En el Bus I2C, la red puede estar conformada por un sólo maestro (red mono-maestro), en este caso sólo existe un maestro el cual es quien gobierna el bus. También pueden haber redes I2C en las que varios dispositivos pueden hacer las veces de maestro (red multi-maestro). Los maestros son por lo general microcontroladores, por lo que un microcontrolador entonces puede ser unas veces maestro y otras veces esclavo.

En este último caso, la posibilidad de conectar más de un microcontrolador al bus significa que uno o más microcontroladores pueden iniciar el envío de datos al mismo tiempo. Para prevenir el caos que esto ocasionaría, el protocolo realiza un sistema de arbitraje para determinar qué dispositivo va a controlar el bus.

Si uno o más maestros intentan poner información en el bus, es la señal de reloj la que determina los derechos de arbitraje. Si está a "1" o a "0".

La generación de señales de reloj (SCL) es siempre responsabilidad de los dispositivos maestro. Cada maestro genera su propia señal de reloj cuando envía datos al bus; las señales de reloj de un maestro sólo pueden ser alteradas cuando la línea de reloj sufre una caída por un dispositivo esclavo o por el dominio del control del Bus por el arbitraje de otro microcontrolador.

Los dispositivos conectados al bus deben ser de colector abierto ("en paralelo"), para que todos se puedan estar formando una conexión AND.

En el caso de este proyecto, el tipo de bus I2C que se desarrolló fue una red mono-maestro, en la cual sólo hay un microcontrolador maestro que es la unidad de control del proceso y un dispositivo esclavo que es la unidad de visualización (**Figura 66**).

**Especificaciones eléctricas.** El bus I2C permite la comunicación entre dispositivos fabricados con diferentes tecnologías y diferentes tensiones de alimentación. Para conexiones con niveles de entrada fijos y alimentación de + 5VDC, se definen los siguientes valores:

$V_{il} = 1,5 \text{ V}$  (máxima tensión de entrada a <0>)

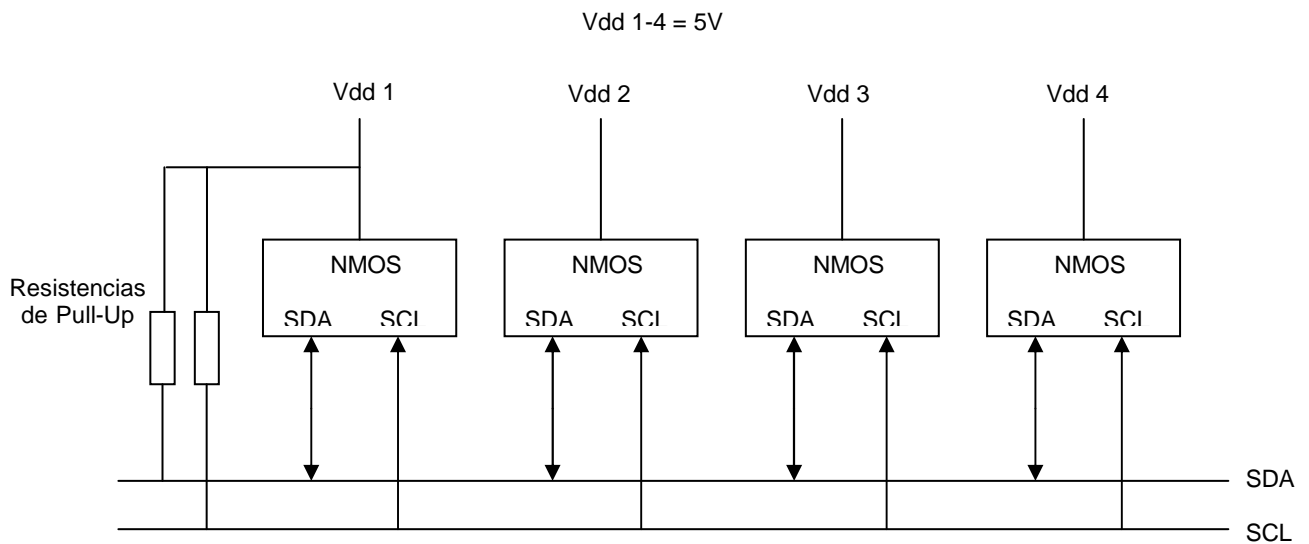
$V_{ih} = 3 \text{ V}$  (mínima tensión de entrada a <1>)

Para dispositivos capaces de trabajar con un rango variado de tensiones de alimentación (por ejemplo, CMOS), se definen los siguientes niveles:

$V_{il} = 0.3 V_{dd}$  (máxima tensión de entrada a <0>)  
 $V_{ih} = 0.7 V_{dd}$  (mínima tensión de entrada a <1>)  
 En ambos casos, la máxima tensión de salida a <0> es:  
 $V_{ol} = 0.4 V_{arm}$

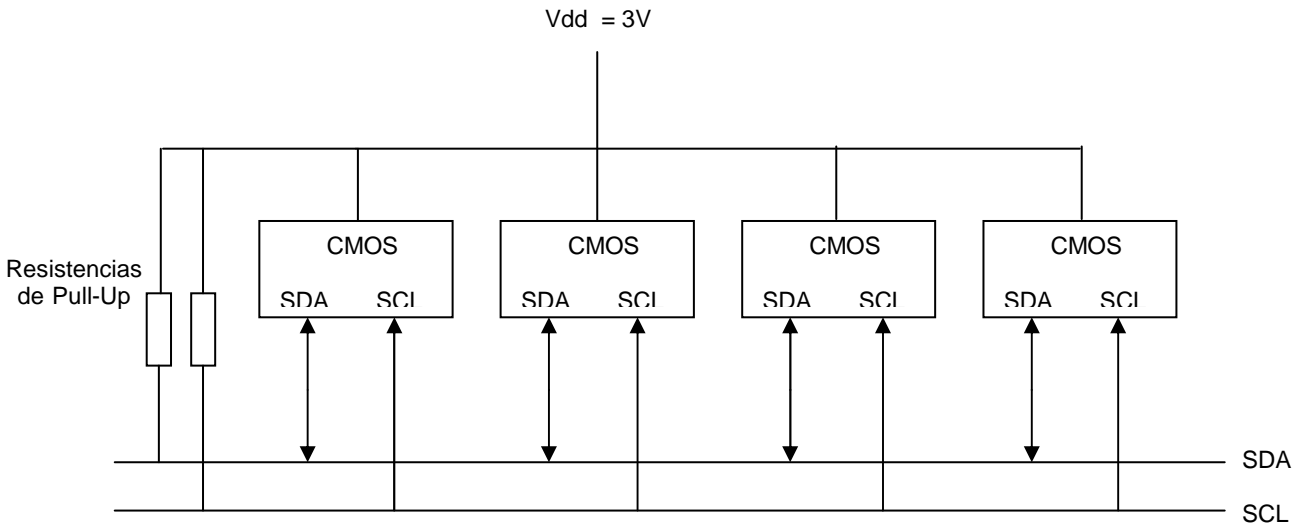
La corriente máxima de entrada a <0> en las líneas SDA y SCL de un dispositivo compatible con el bus es de  $-10\mu A$ . A nivel < 1 >, la corriente de entrada es de  $10\mu A$ .  
 La capacidad de dichas líneas es de 10pF máximo.

Los dispositivos con niveles fijos de entrada pueden alimentarse desde diferentes fuentes de alimentación de + 5V, este caso se muestra en la siguiente figura.



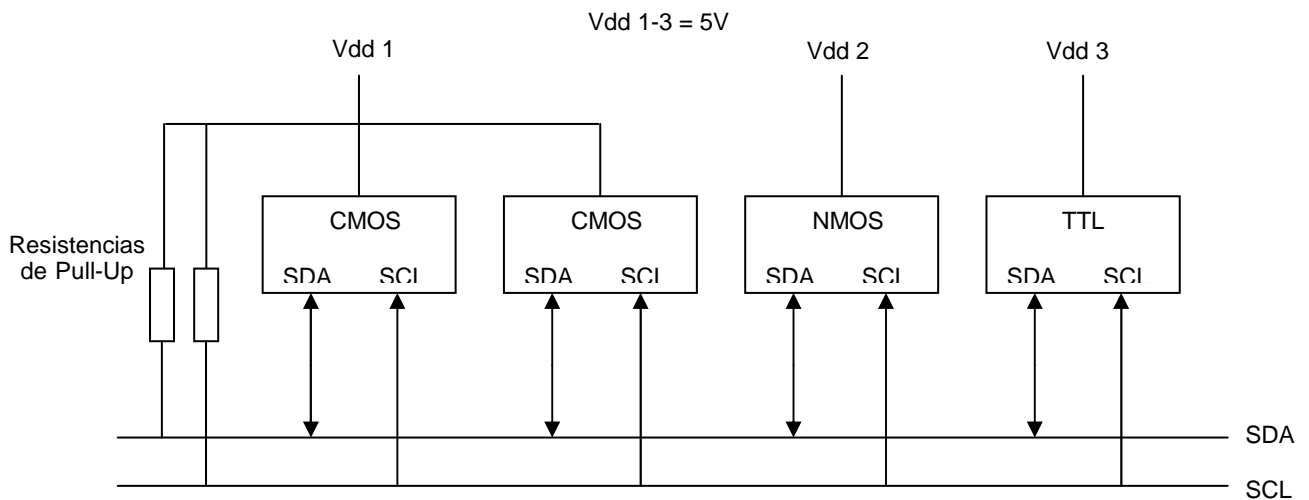
Alimentación de dispositivos con niveles fijos de entrada

Los dispositivos I2C cuyos niveles lógicos de entrada están en relación a Vdd, deben de ser alimentados como se muestra a continuación.



Alimentación de dispositivos con niveles de entrada dependientes de Vdd

Cuando se combinan ambos tipos de dispositivos, los de niveles físicos de entrada (NMOS, TTL) y los dependientes de Vdd (CMOS), estos últimos deben conectarse a una alimentación común de + 5 VDC, como se muestra a continuación.



Alimentación de dispositivos con niveles de entrada fijos junto con dependientes de Vdd

**Tiempos.** La señal de reloj en el bus I2C tiene un período a <0> de como mínimo 4,7ms y a <1> de como mínimo 4ms. De esta forma, el maestro puede generar una frecuencia de hasta 100KHz. En la tabla que se muestra a continuación se enseña el valor de cada tiempo.

<b>Símbolo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Min. (µs)</b>	<b>Máx. (µs)</b>
T <sub>BUF</sub>	Tiempo en el que el bus debe estar libre antes de iniciar una nueva transmisión	4,7	
T <sub>HD-STA</sub>	Tiempo entre el inicio y el primer pulso en SCL	4	
T <sub>LOW</sub>	Duración del período bajo del reloj	4,7	
T <sub>HIGH</sub>	Duración del período alto del reloj	4	
T <sub>SU-STA</sub>	Tiempo antes de una nueva condición de inicio	4,7	
T <sub>HD-DAT</sub>	Tiempo del mantenimiento del dato	0	
T <sub>SU-DAT</sub>	Tiempo de puesta del dato	250	
T <sub>R</sub>	Tiempo del flanco ascendente para las líneas SDA y SCL		1
T <sub>F</sub>	Tiempo del flanco descendente para las líneas SDA y SCL		300
T <sub>SU-STO</sub>	Tiempo para la condición de parada	4,7	

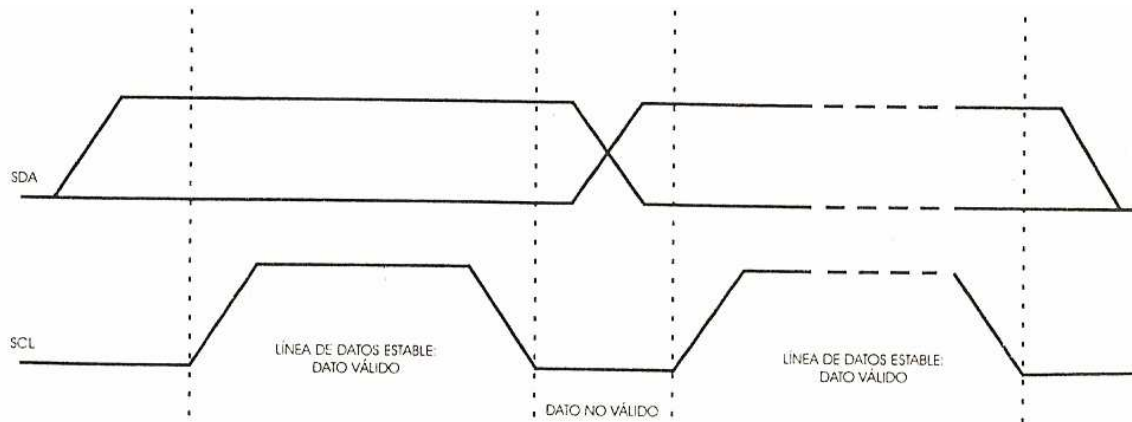
Valor y nomenclatura de los diferentes tiempos

<b>Términos</b>	<b>Descripción</b>
Transmisor	El dispositivo que envía datos al Bus
Receptor	El dispositivo que recibe datos desde el Bus
Master (Maestro)	El dispositivo que inicia una transferencia, genera las señales del reloj y termina un envío de datos
Slave (Esclavo)	El dispositivo direccionado por un master
Multi-Master	Más de un master puede controlar el bus al mismo tiempo sin corrupción de los mensajes
Arbitraje	Procedimiento que asegura que si uno o más Maestros simultáneamente deciden controlar el Bus sólo uno es permitido a controlarlo y el mensaje saliente no es deteriorado
Sincronización	Procedimiento para sincronizar las señales del reloj de dos o más dispositivos

Terminología básica del bus I2C



**El Protocolo I2C.** Como se explicó anteriormente, la línea SDA es la encargada de transferir los datos que transmiten por el bus, mientras que la línea SCL es la encargada de enviar los pulsos de reloj para la sincronizar la transmisión y recepción de los bit's de SDA. Estos bit's de datos deben de mantenerse estable durante el periodo en que la señal de reloj está a nivel 1. La línea de datos SDA sólo puede cambiar de estado durante el período en que la señal de reloj está a 0. Esto se puede apreciar en la siguiente figura.

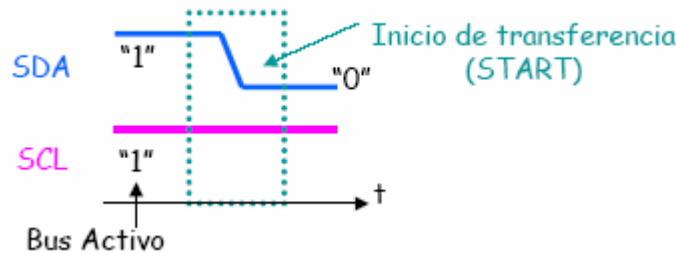


Validación del bit de datos

En el momento en que se desea iniciar una transferencia de datos en el bus, el dispositivo maestro el cual es quien puede llevarla a cabo, deberá de realizar los siguientes pasos:

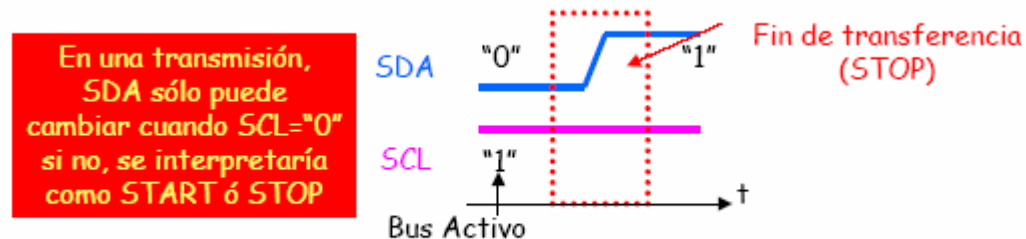
- Generar un bit de Inicio
- Transmitir la dirección del esclavo con quien desea entablar la comunicación
- Transmitir un bit R/W que define si el esclavo será transmisor o receptor
- Un bit de reconocimiento (generado por el esclavo)
- Mensaje dividido en octetos (8-bit)
- Generar un bit de Stop

**Condición de inicio.** La condición de inicio se da cuando el maestro produce una transición de 1 a 0 en la línea SDA (flanco descendente), al tiempo que SCL se encuentra en un nivel lógico 1. En la siguiente figura se muestra esta situación.



Condición de inicio

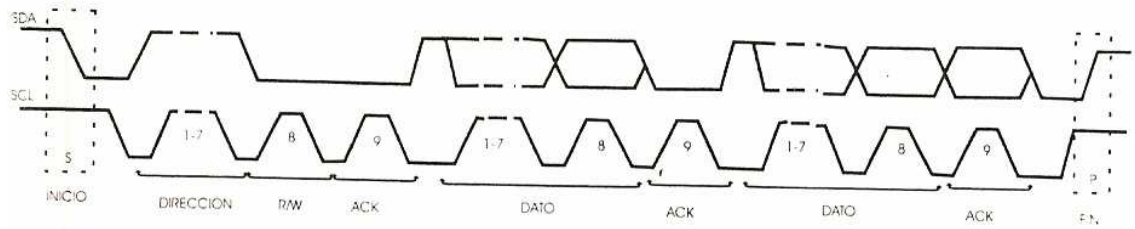
**Condición de parada o Stop.** La condición de parada se da cuando el maestro del bus genera una transición de 0 a 1 en la línea SDA (flanco ascendente), al tiempo que SCL se encuentra en un nivel 1. Esto se muestra en la siguiente figura.



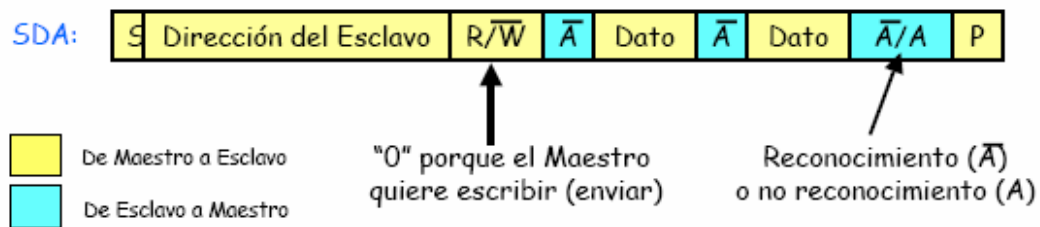
Condición de parada

Como se explicó, las condiciones de Inicio y Stop son siempre generadas por el Maestro. El bus I2C se considera ocupado después de una condición de Inicio. El bus se considera libre de nuevo después de un cierto tiempo tras la condición de Stop. Es decir al pulso "1" de la línea SCL le puede corresponder un pulso "0" o "1" de la línea SDA en función de la información del byte que se envíe, recuerde que a cada bit de SDA le corresponde un bit de SCL, pero nunca salvo en la condición de Inicio a un bit de SCL le corresponde una situación de "1" a "0", o sea, pasa por dos estados la línea SDA al revés ocurre en la condición de Stop que el Maestro envía un bit a la línea SCL mientras cambia en la línea SDA de "0" a "1" durante el tiempo que está enviando la señal de "1" a SCL.

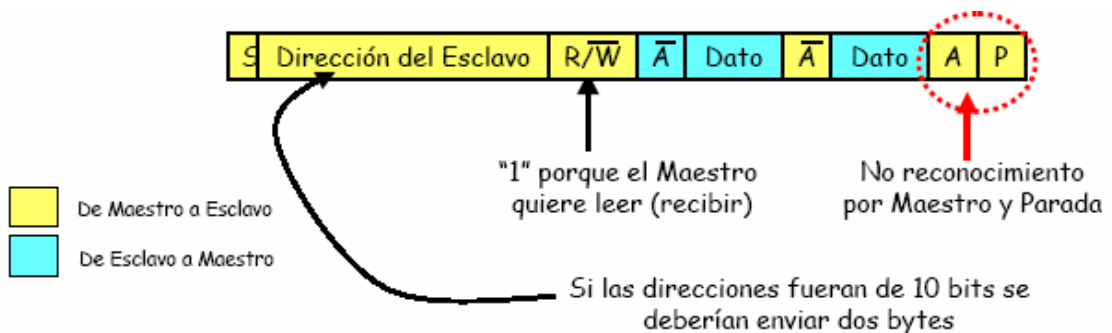
**Formato.** Los datos que se transfieren tienen el formato que se muestra en la siguiente figura. Tras la condición de inicio, el maestro envía la dirección del esclavo al que se quiere dirigir. Esta dirección es de 7 bit's más el bit R/W# que indica (R/W# = 1) o escritura (R/W# = 0) del esclavo. Toda transferencia de datos finaliza con la condición de parada, también generada por el maestro. A pesar de todo, si un maestro aún desea comunicar por el bus, puede generar otra condición y direccional a otro esclavo sin generar previamente la condición de parada. En las próximas tres figuras, se muestran los posibles formatos de transferencia.



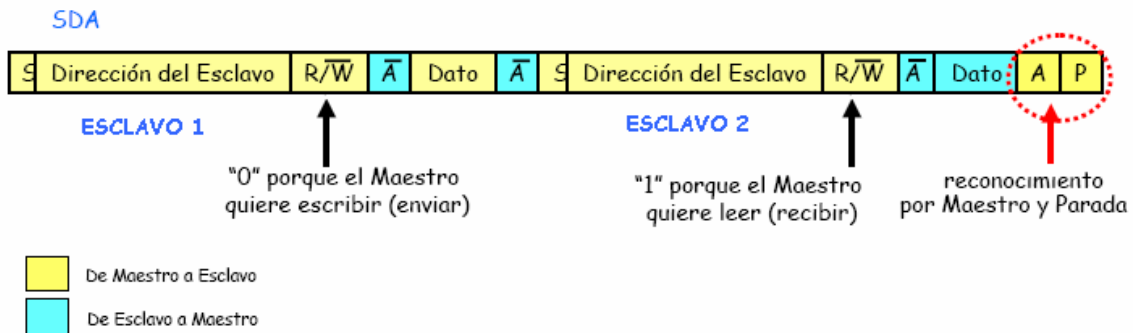
Formato de los datos transferidos



Secuencia de transmisión del maestro



Secuencia de recepción del maestro



El maestro cambia el byte de dirección y selecciona un esclavo distinto

**Direccionamiento.** El proceso de direccionamiento del bus I2C consiste en que el primer byte que envía el maestro tras la condición de inicio es un código que determina y selecciona a un determinado esclavo del bus. Existe una excepción en el código denominada "llamada general". Cuando un maestro realiza una "llamada general" (código 0000 000), todos los esclavos existentes deben de responder con el bit ACK. Puede darse el caso de dispositivos que ignoren esta llamada. El siguiente byte tras la misma indicará la operación a realizar.

**Definición del primer byte.** Los 7 bit's de más pesos del primer byte se emplean para direccionar a un determinado esclavo. El de menos peso (el octavo enviado), determina si se realizará una operación de lectura o de escritura (R/W#) sobre el esclavo direccionado.

Cuando el maestro envía una dirección por el bus, todos los esclavos conectados la comparan con la suya propia interna. Aquel en que coincida se considerará seleccionado por el maestro. De los 7 bit's que forman una dirección hay una parte que son fijos y ya están definidos internamente por el propio dispositivo esclavo, y otra parte que son programables. De esta forma, es posible conectar al mismo bus dispositivos idénticos cuya parte fija de dirección es la misma pero la programable es diferente.

El número de dispositivos iguales que se pueden instalar a un mismo bus depende del número de bit's programables disponibles. Por ejemplo, si un determinado modelo de dispositivo recibe una dirección de 7 bit's, 4 de los cuales son fijos y los 3 restantes programables, se podrán conectar al bus un máximo de 8 dispositivos de ese mismo modelo.

El comité I2C coordina las direcciones asignadas a los diferentes dispositivos. Por ejemplo, la dirección 1111 111 está reservada como extensión de dirección en el que el proceso de direccionamiento de un dispositivo continúa en los siguientes bytes transferidos por el maestro. La dirección 1111 XXX está reservada tan bien con propósitos de direccionamientos extendidos y la emplean ciertos dispositivos que tienen 10 bit's de direccionado. La dirección 0000 XXX está reservada para un grupo especial de dispositivos. En la siguiente tabla se muestra las direcciones reservadas por defecto en el bus I2C.

DIRECCION	R/W#	FUNCIÓN
0000 000	0	Dirección de llamada general
0000 000	1	Byte de inicio (2)
0000 001	X	Dirección CBUS (3)
0000 010	X	Reservada para un formato diferente (4)
0000 011	X	No definida
0000 100	X	No definida
0000 101	X	No definida
0000 110	X	No definida
0000 111	X	No definida

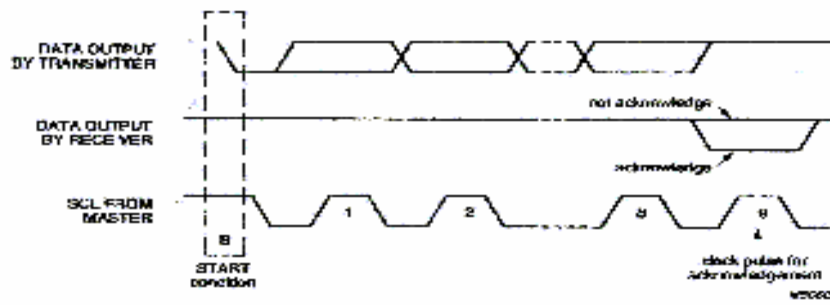
Definición de bit's en el primer byte

- Para aquellos dispositivos que la admitan y/o necesiten
- No está permitido el bit ACK tras la recepción del byte. Empleado por ciertos dispositivos
- La dirección CBUS está reservada para permitir la combinación de dispositivos I2C y CBUS en un mismo sistema. Los dispositivos I2C no responden a esta dirección.
- Esta dirección está reservada para combinar el formato I2C con otros protocolos.

Únicamente los dispositivos I2C que estén diseñados para trabajar con esos formatos y protocolos responden a esta dirección.

**Reconocimiento.** El bit de reconocimiento es obligatorio en la transferencia de datos. El pulso de reloj correspondiente al bit de reconocimiento (ACK) es generado por el maestro. El transmisor desbloquea la línea SDA ("1") durante el pulso de reconocimiento.

El receptor debe poner a "0" la línea SDA durante el pulso ACK de modo que siga siendo "0" durante el tiempo que el Maestro genera el pulso "1" de ACK.



Reconocimiento en el bus I2C

Normalmente un receptor cuando ha sido direccionado está obligado a generar un ACK después que cada byte ha sido recibido, excepto cuando el mensaje empieza con una dirección.

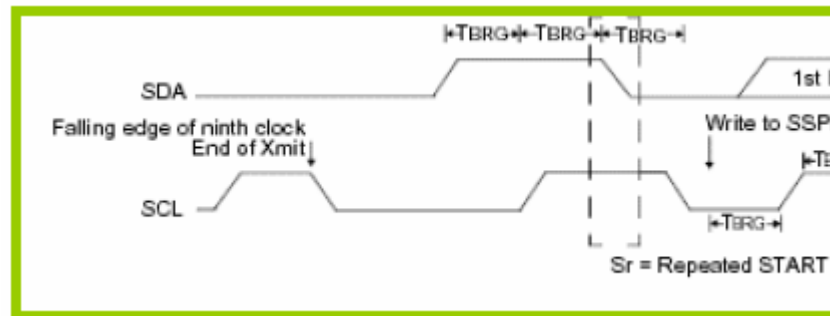
Cuando un dispositivo esclavo no genera el bit ACK (porque esta haciendo otra cosa y no puede atender el bus), debe mantener el esclavo la línea SDA a nivel "1" durante el bit ACK. El Maestro entonces puede generar una condición de STOP abortando la transferencia de datos o repetir la condición de Inicio enviando una nueva transferencia de datos.

Si un esclavo-receptor que está direccionado no desea recibir más bytes, el maestro debe detectar la situación y no enviar más bytes. Esto se indica porque el esclavo no genera el bit ACK en el primer byte que sigue. El esclavo pone la línea SDA a "1" lo que es detectado por el maestro el cual genera la condición de Stop o repite la condición de Inicio.

Si un maestro-receptor está recibiendo datos de un esclavo-transmisor, debe generar un bit ACK tras cada byte recibido del transmisor. Para finalizar la transferencia de datos no debe generar el ACK tras el último byte enviado por el esclavo. El esclavo-transmisor debe permitir desbloquear la línea SDA generando el master la condición de Stop o de Inicio.

**Repetición de START (Sr).** La repetición de inicio se da cuando un dispositivo maestro no desea abandonar el bus tras una transferencia, en lugar de generar un bit de STOP y volver a generar el nuevo START, puede optar por generar una repetición de inicio (Sr).

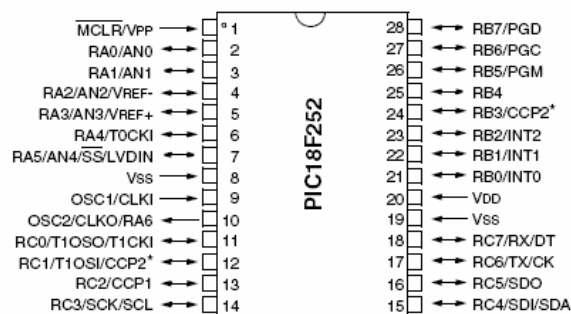
La repetición de inicio es idéntica a la condición de inicio (SDA pasa de 1 a 0 con SCL en estado alto) pero se produce tras un pulso de reconocimiento de bus (ACK) y no desde un estado inactivo. En la siguiente figura se muestra esta situación.



Repetición de inicio en el bus

## Apéndice K. Características del microcontrolador PIC 18F252

DIP, SOIC



\* RB3 is the alternate pin for the CCP2 pin multiplexing.

Features	PIC18F252
Operating Frequency	DC - 40 MHz
Program Memory (Bytes)	32K
Program Memory (Instructions)	16384
Data Memory (Bytes)	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256
Interrupt Sources	17
I/O Ports	Ports A, B, C
Timers	4
Capture/Compare/PWM Modules	2
Serial Communications	MSSP, Addressable USART
Parallel Communications	—
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels
RESETS (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low Voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions
Packages	28-pin DIP 28-pin SOIC



## Apéndice L. Sensor Osiris XU2 N18NP341D

### Characteristics, curves

### Photo-electric sensors

Osiris® Application, food and beverage  
processing series

Stainless steel case M18 x 1

d.c. supply. Solid-state output

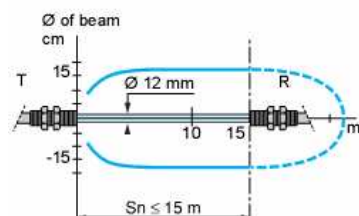
#### Characteristics

Product certifications	CE, UL, CSA	
Ambient air temperature	Operation: - 25...+ 55 °C. Storage: - 40...+ 70 °C	
Vibration resistance	Conforming to IEC 60068-2-6	25 gn, amplitude $\pm 1.5$ mm ( $f = 10...55$ Hz)
Shock resistance	Conforming to IEC 60068-2-27	30 gn, duration 11 ms
Degree of protection	Conforming to IEC 60529	IP 67
Connection	Pre-cabled	Pre-cabled, diameter 4.2 mm, length 2 m (3), wire c.s.a.: 4 x 0.34 mm <sup>2</sup>
	Connector	M12 male connector, 4-pin (suitable female connectors, including pre-wired versions, see page 30210/2)
Materials	Case	Food and beverage processing stainless steel, grade 304 Cu
	Lenses	PMMA
	Cable	PvR
Rated supply voltage	12...24 V with protection against reverse polarity	
Voltage limits	10...30 V (including ripple)	
Switching capacity (sealed)	$\leq 100$ mA with overload and short-circuit protection	
Voltage drop, closed state	$\leq 1.5$ V	
Current consumption, no-load	$\leq 30$ mA (reflex and diffuse), $\leq 50$ mA (thru-beam)	
Maximum switching frequency	500 Hz	
Delays	First-up	$\leq 15$ ms
	Response	$\leq 1$ ms
	Recovery	$\leq 1$ ms
Indicator lights	Supply on	Green LED, on transmitter only
	Output state	Yellow LED, on receiver only

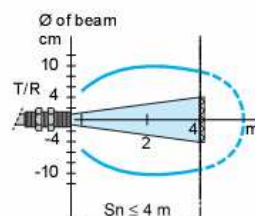
#### Curves

##### Detection curves

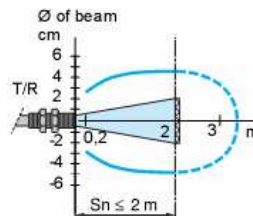
###### Thru-beam system



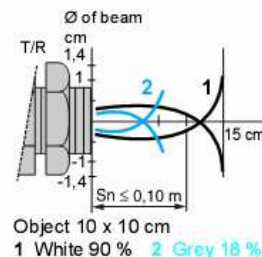
###### Reflex system with reflector XU2 C50



###### Polarised reflex system with reflector XU2 C50



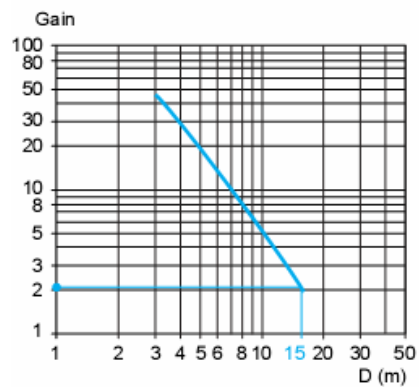
###### Diffuse system



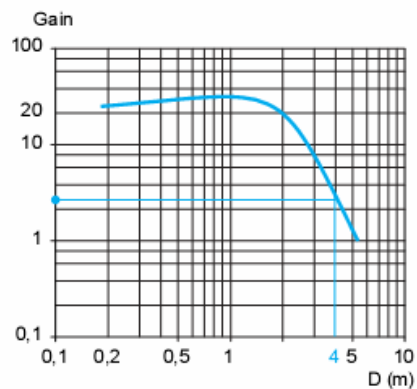
Excess gain curves (ambient temperature: + 25 °C)

## Excess gain curves (ambient temperature: + 25 °C)

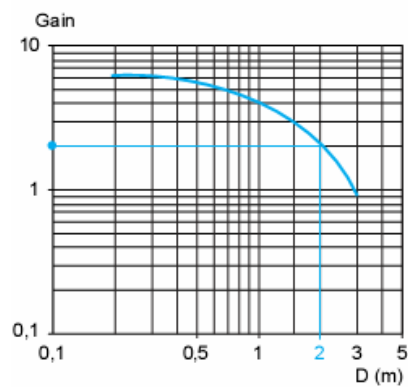
### Thru-beam system



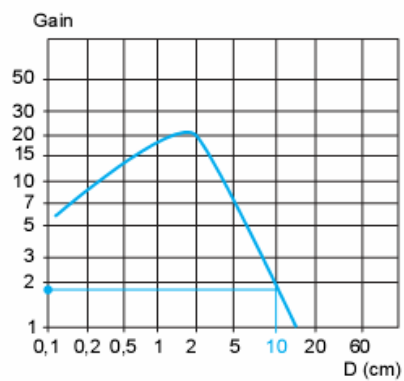
### Reflex system with reflector XUZ C50



### Polarised reflex system with reflector XUZ C50

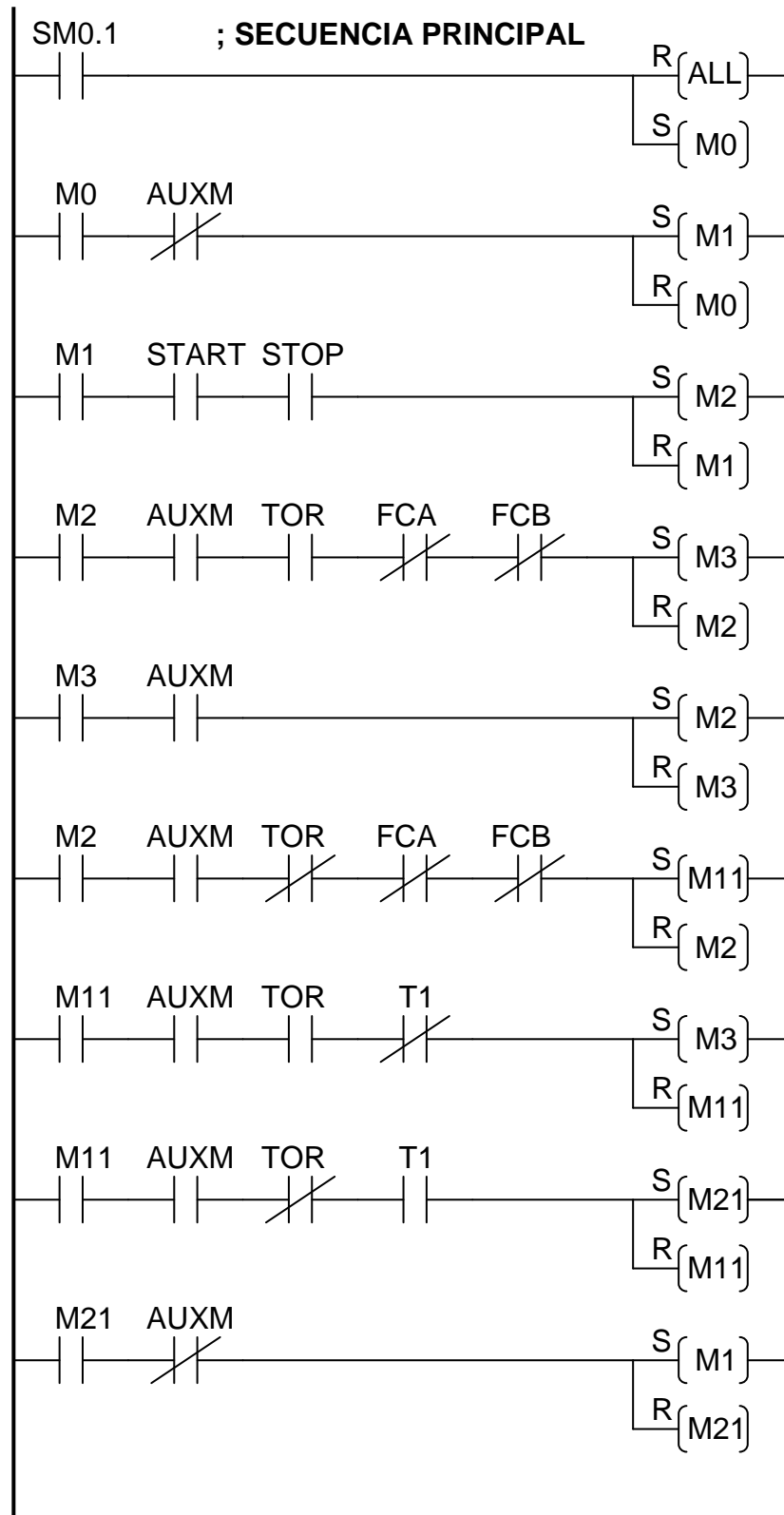


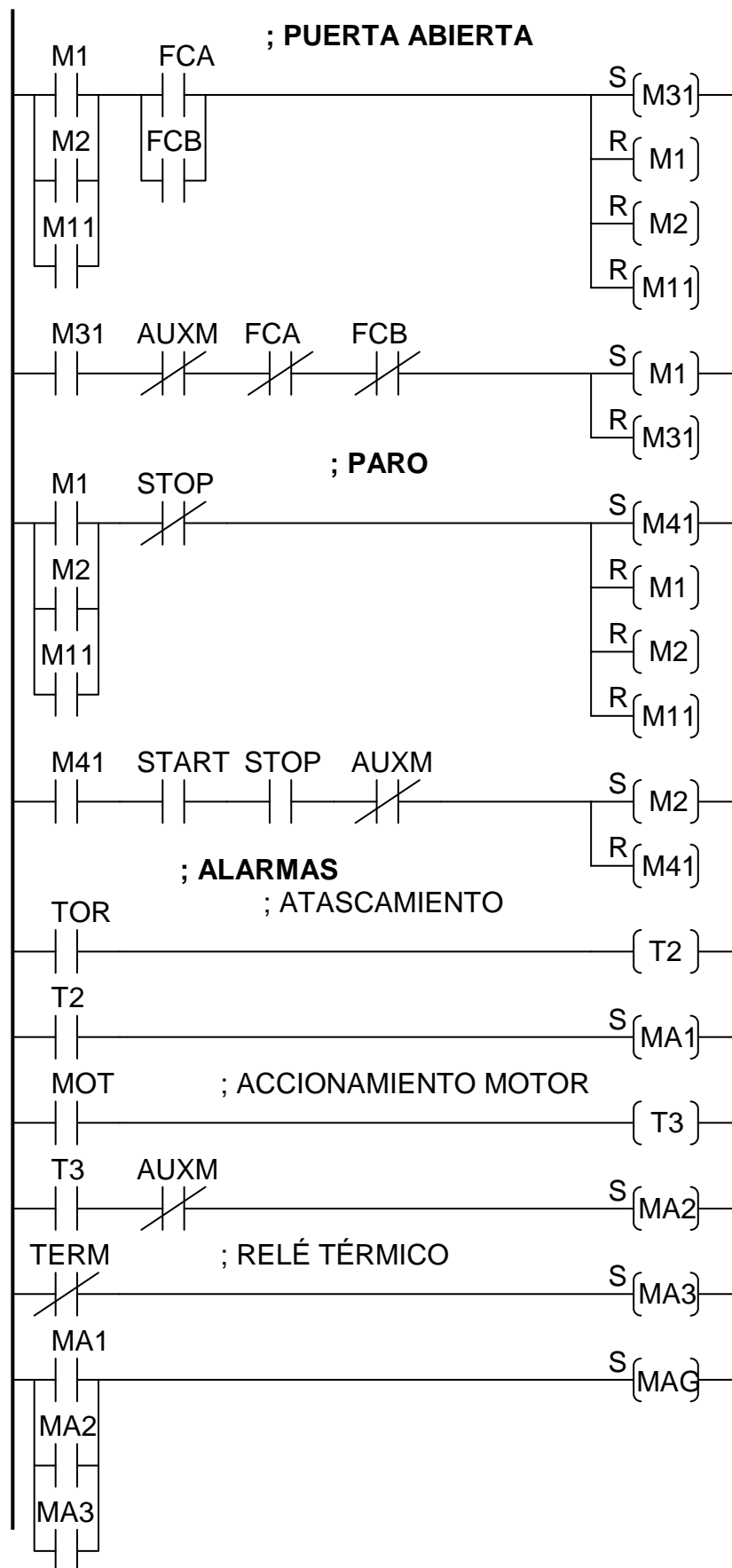
### Diffuse system

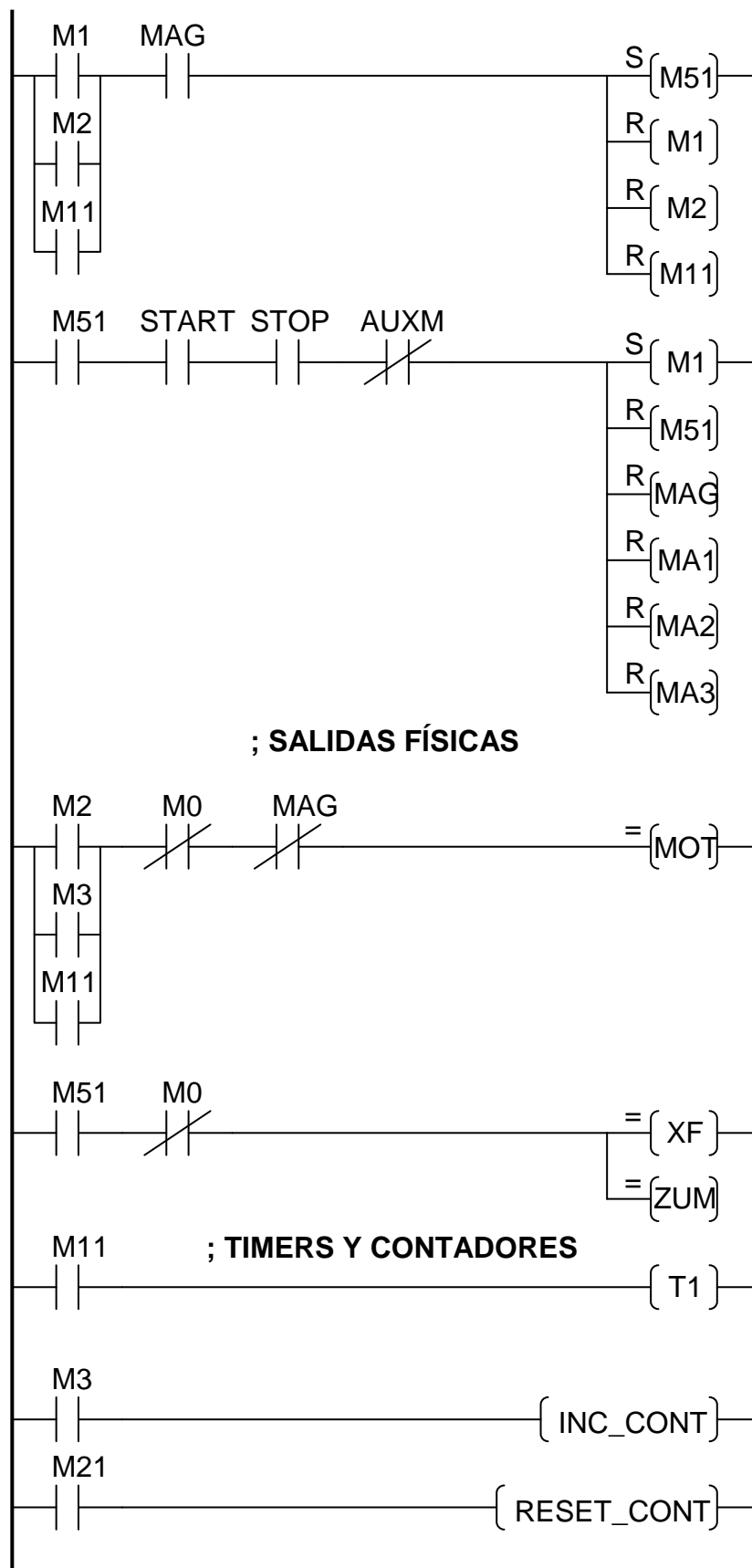


Object 10 x 10 cm  
White 90 %

## Apéndice M. Programa en ladder







## Apéndice N. Programa en lógica

INICIO

```
*****
;
;PROGRAMA PRINCIPAL
*****
;
      LOAD      M0
      ANDN      AUXM
      SETT      M1
      RESETT    M0
*****
;
      LOAD      M1
      AND        START
      AND        STOP
      SETT      M2
      RESETT    M1
*****
;
      LOAD      M2
      AND        AUXM
      AND        TOR
      ANDN      FCA
      ANDN      FCB
      SETT      M3
      RESETT    M2
*****
;
      LOAD      M3
      AND        AUXM
      SETT      M2
      RESETT    M3
*****
;
      LOAD      M2
      AND        AUXM
      ANDN      TOR
      ANDN      FCA
      ANDN      FCB
      SETT      M11
      RESETT    M2
*****
;
      LOAD      M11
      AND        AUXM
      AND        TOR
      ANDN      TON,1
      SETT      M3
      RESETT    M11
```

```

,*****
LOAD      M11
AND       AUXM
ANDN      TOR
AND       TON,1
SETT      M21
RESETT    M11
,*****
LOAD      M21
ANDN      AUXM
SETT      M1
RESETT    M21
,*****
;PUERTA ABIERTA
,*****
LOAD      M1
OR         M2
OR         M11
AND        FCA
OR         FCB
SETT      M31
RESETT    M1
RESETT    M2
RESETT    M11
,*****
LOAD      M31
ANDN      AUXM
ANDN      FCA
ANDN      FCB
SETT      M1
RESETT    M31
,*****
;PARO DE EMERGENCIA
,*****
LOAD      M1
OR         M2
OR         M11
ANDN      STOP
SETT      M41
RESETT    M1
RESETT    M2
RESETT    M11

```

```

;*****
;
;      LOAD      M41
;      AND       START
;      AND       STOP
;      ANDN      AUXM
;      SETT      M2
;      RESETT    M41
;*****
;ALARMAS
;*****
;ATASCAMIENTO
;      LOAD      TOR
;      T_ON      2,64
;
;      LOAD      TON,2
;      SETT      MA1
;
;ACCIONAMIENTO MOTOR
;      LOAD      MOT
;      T_ON      3,0A
;
;      LOAD      TON,3
;      ANDN      AUXM
;      SETT      MA2
;
;TÉRMINICO
;      LOADN     TERM
;      SETT      MA3
;
;      LOAD      MA1
;      OR        MA2
;      OR        MA3
;      SETT      MAG
;*****
;FALLAS GENERADAS
;*****
;
;      LOAD      M1
;      OR        M2
;      OR        M11
;      AND       MAG
;      SETT      M51
;      RESETT    M1
;      RESETT    M2
;      RESETT    M11

```

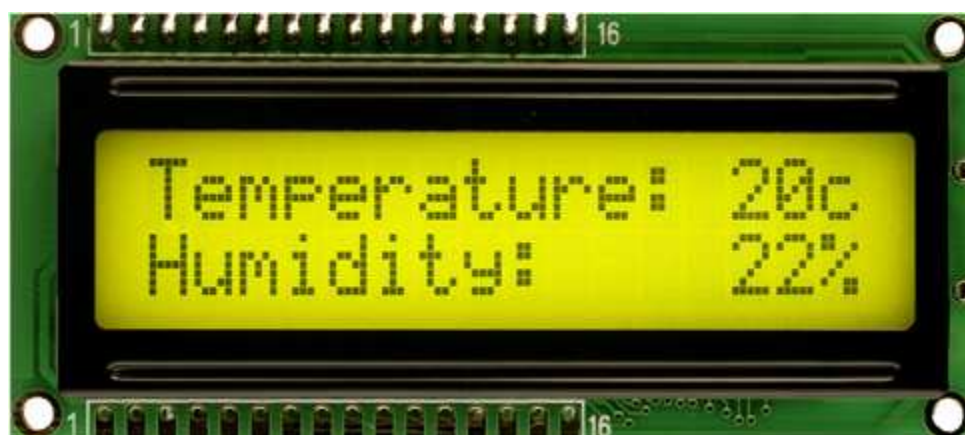


```

,*****
      LOAD      M51
      AND       START
      AND       STOP
      ANDN      AUXM
      SETT      M1
      RESETT    M51
      RESETT    MAG
      RESETT    MA1
      RESETT    MA2
      RESETT    MA3
,*****
;SALIDAS FÍSICAS
,*****
      LOAD      M2
      OR        M3
      OR        M11
      ANDN      M0
      ANDN      MAG
      OUT       MOT
,*****
      LOAD      M51
      ANDN      M0
      OUT       XFAL
      OUT       ZUM
,*****
;TIMERS Y CONTADORES
,*****
      LOAD      M11
      T_ON      1,64
,*****
      LOAD      TOR
      ANDN      MAG
      INC       0,0FF
,*****
      LOAD      M21
      RESETC    0
,*****
      ENDP

```

## Apéndice O. Módulo LCD



Este dispositivo tiene 14 pines, los cuales están distribuidos de la siguiente manera.

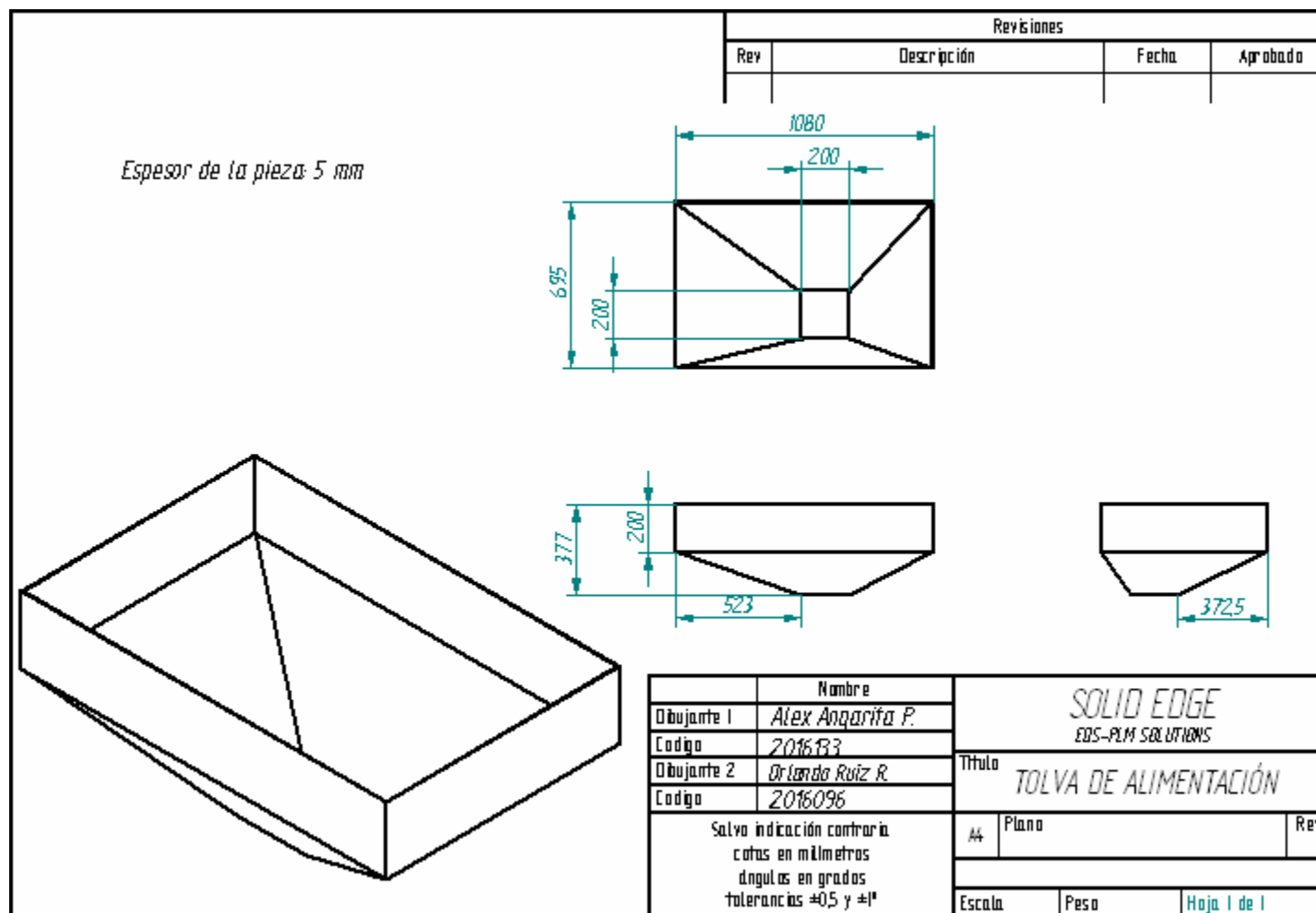
Pin nº	Símbolo	Conexión	Descripción
1	$V_{ss}$	$V_{ss}$	Patilla de tierra de alimentación
2	$V_{dd}$	$V_{dd}$	Patilla de alimentación de +5V
3	$V_o$	$V_o$	Patilla de contraste del cristal líquido. Normalmente se conecta a un potenciómetro a través del cual se aplica una tensión variable entre 0 y +5V que permite regular el contraste del cristal líquido.
4	RS	RA0	Selección del registro de control/registro de datos: <b>RS=0</b> Selección del registro de control <b>RS=1</b> Selección del registro de datos
5	R/W	RA1	Señal de lectura/escritura <b>R/W=0</b> El Módulo LCD es escrito <b>R/W=1</b> El Módulo LCD es leído
6	E	RA2	Señal de activación del módulo LCD: <b>E=0</b> Módulo desconectado <b>E=1</b> Módulo conectado
7-14	D0-D7	RB0-RB7	Bus de datos bi-direccional. A través de estas líneas se realiza la transferencia de información entre el módulo LCD y el sistema informático que lo gestiona

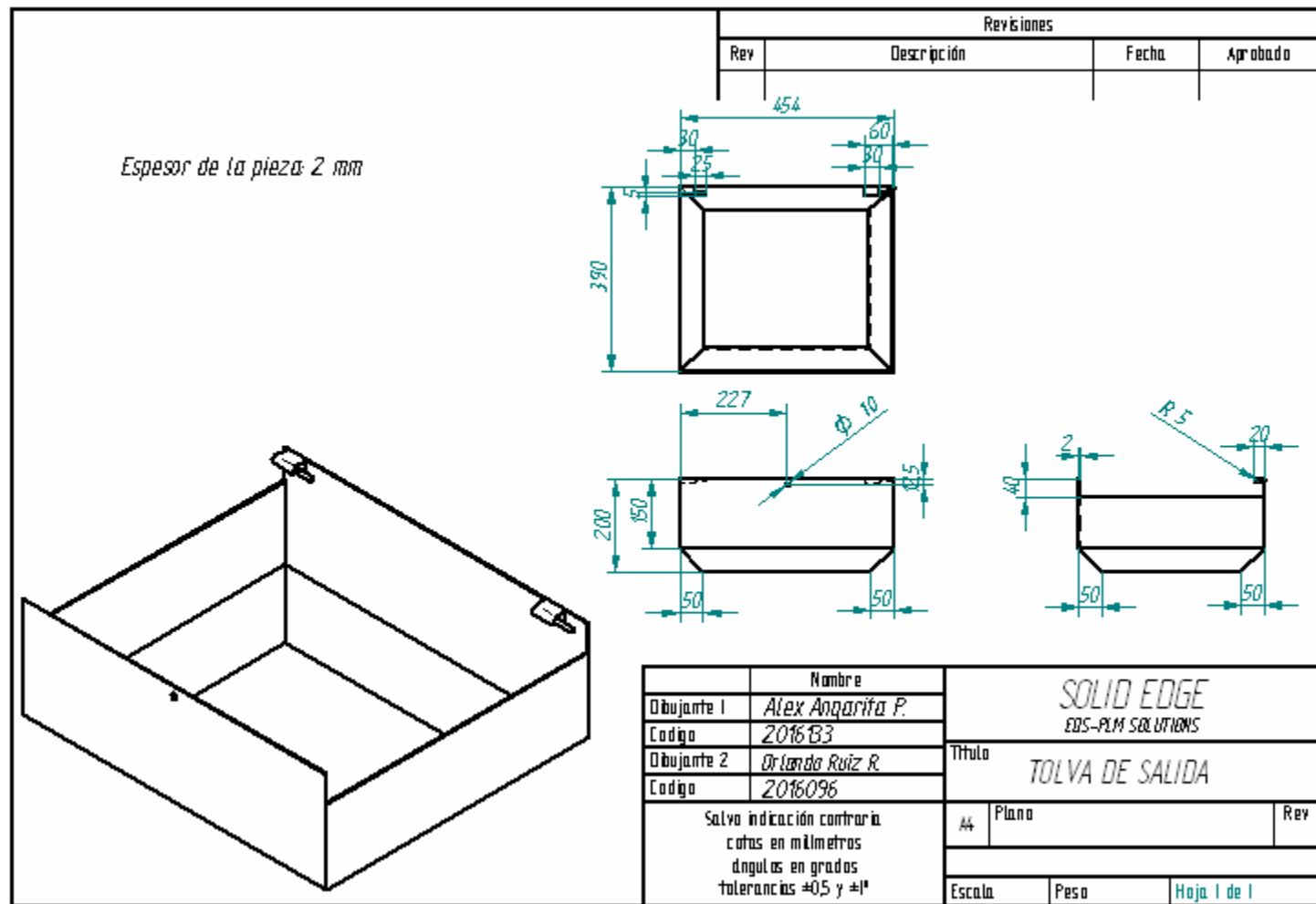
## Instrucciones del LCD

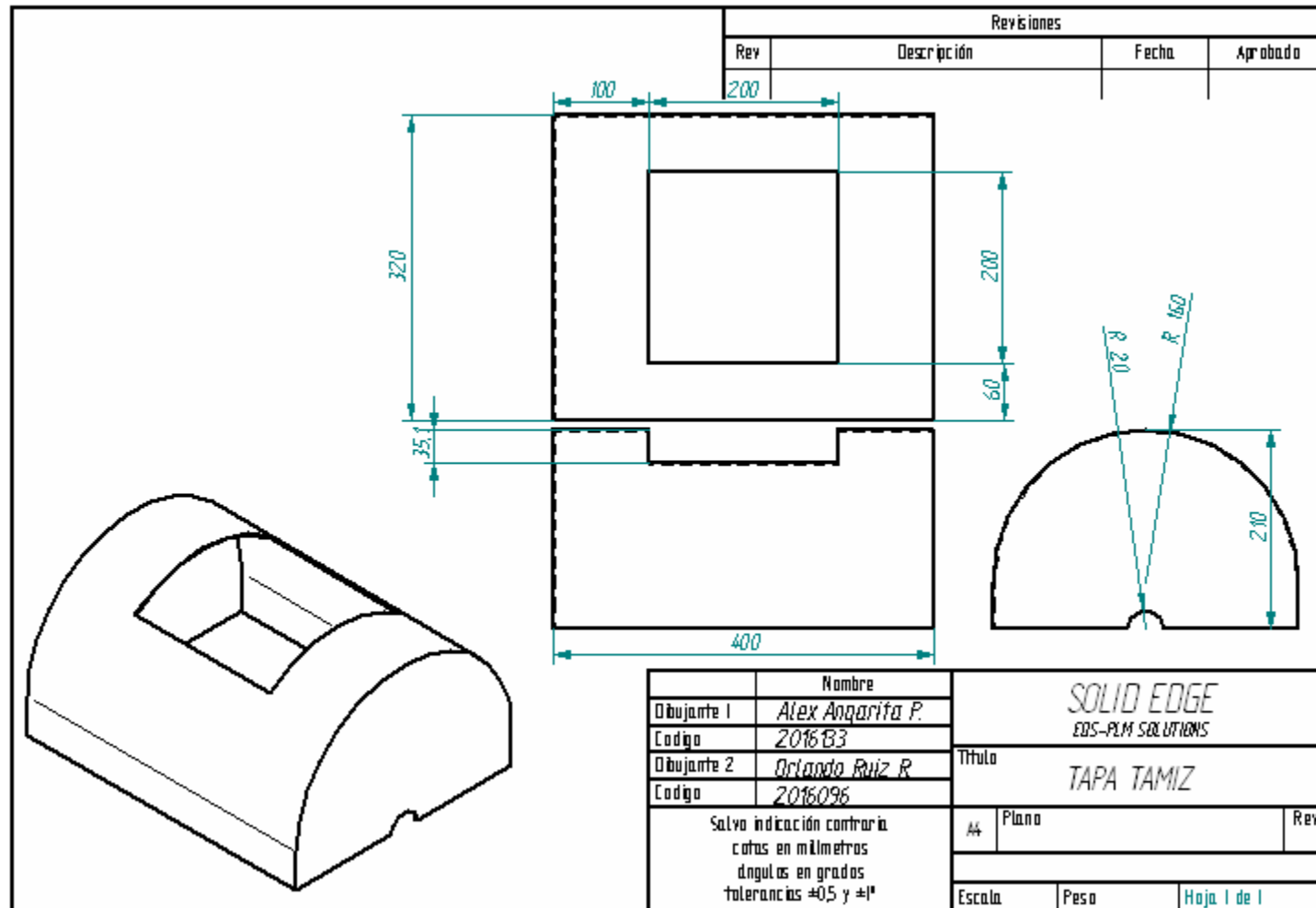
Para manejar el LCD, se le debe de ingresar diferentes códigos de configuración, a los cuales una palabra digital de 8 bits se le asocia un código diferente. Las funciones que posee este display y que se utilizaron en este proyecto fueron las siguientes:

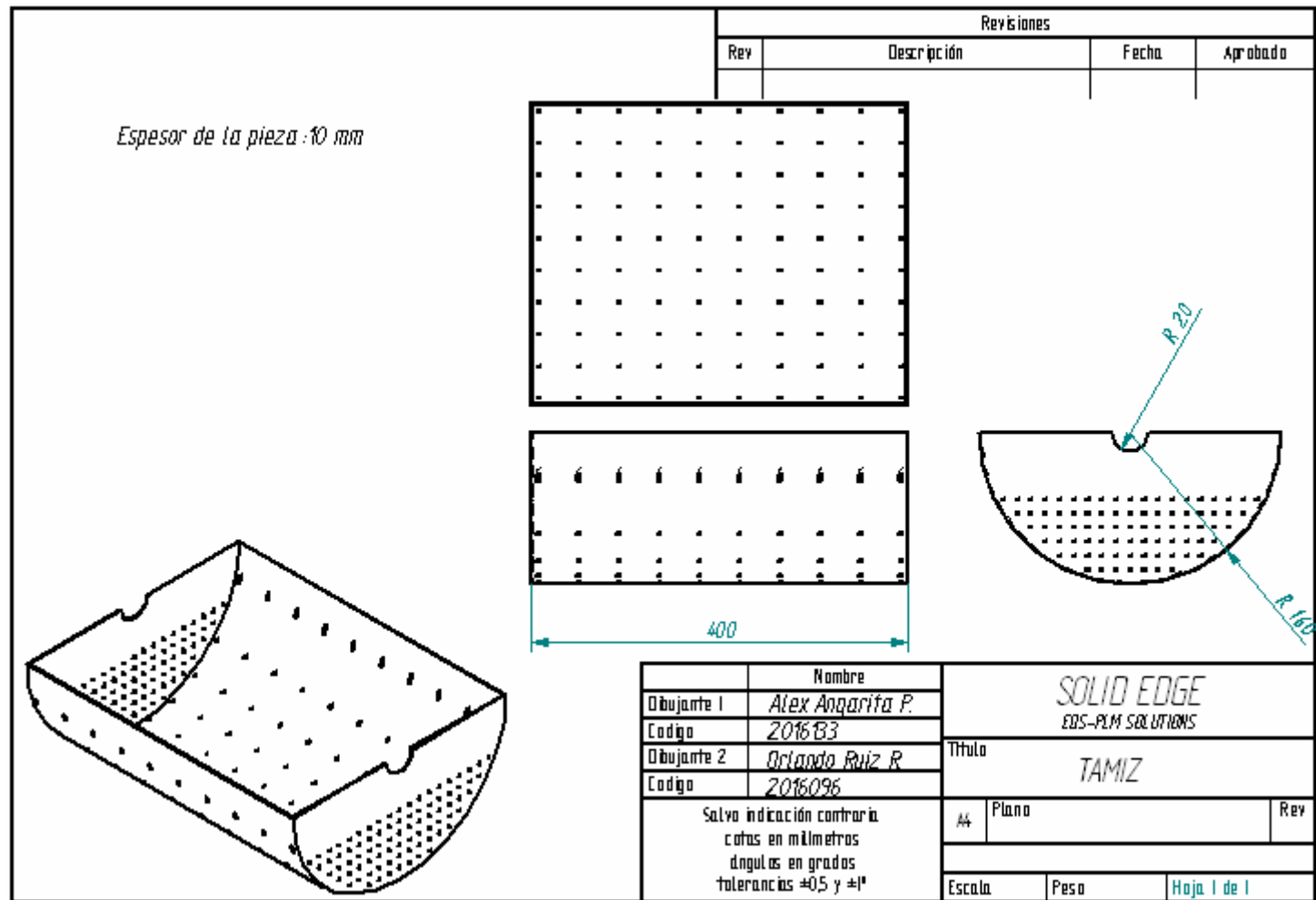
Instrucción	Código										Descripción	Tiempo max de ejecución
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Borra el display y coloca el cursor en la primera posición 0 DDRAM	82 $\mu$ s~1.64ms
Return home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	Coloca el cursor en la posición de inicio y hace que el display comience a desplazarse desde la posición original. El contenido de la DDRAM no varía	40 $\mu$ s~1.64ms
Entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	Establece el sentido de desplazamiento de la información en el display. Esta operación se realiza durante la lectura o escritura de la DDRAM	40 $\mu$ s
Display ON/OFF control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Activa o desactiva poniendo en ON/OFF tanto el display D=0 (off) o D=1(on), como el cursor C=0(off) o C=1(on) y establece si este debe parpadear o no B=0(off) o B=1(on)	40 $\mu$ s
Cursor or display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Mueve el cursor y desplaza el display sin cambiar el contenido de la DDRAM	40 $\mu$ s
Funtion set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Establece el tamaño de interfase con el bus de datos(DL), el número de líneas del display(N) y la font de los caracteres	40 $\mu$ s
	I/D = 1 Incrementa la dirección del cursor I/D = 0 Decrementa la dirección del cursor S = 1 Desplaza la visualización cada vez que se escribe un dato S/C = 1 Se desplaza la visualización S/C = 0 Se desplaza el cursor R/L = 1 Desplazamiento a la derecha R/L = 0 Desplazamiento a la izquierda DL = 1 Trabaja con bus de datos de 8 bits DL = 0 Trabaja con bus de datos de 4 bits N = 1 La presentación se hace en 2 líneas N = 0 La presentación se hace en 1 línea F = 1 Caracteres de 5x10 dots F = 0 Caracteres de 5x7 dots BF = 1 LCD ocupado en una operación interna BF = 0 LCD disponible para aceptar instrucciones D = 1 Pantalla activa (ON) C = 1 Cursor activo (ON) * Indeterminado										DDRAM: Dispalay Data RAM	

## Apéndice P. Planos mecánicos



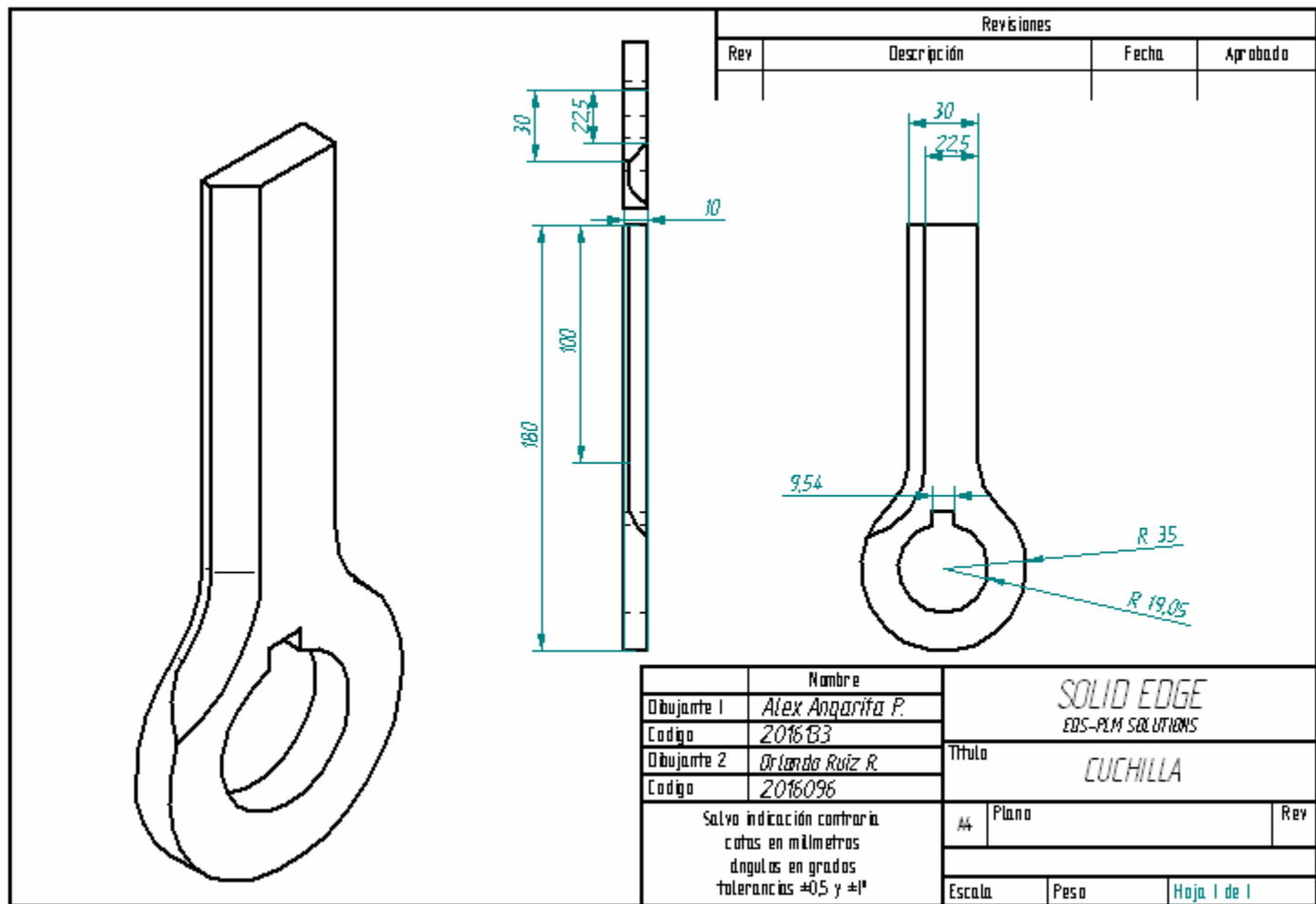


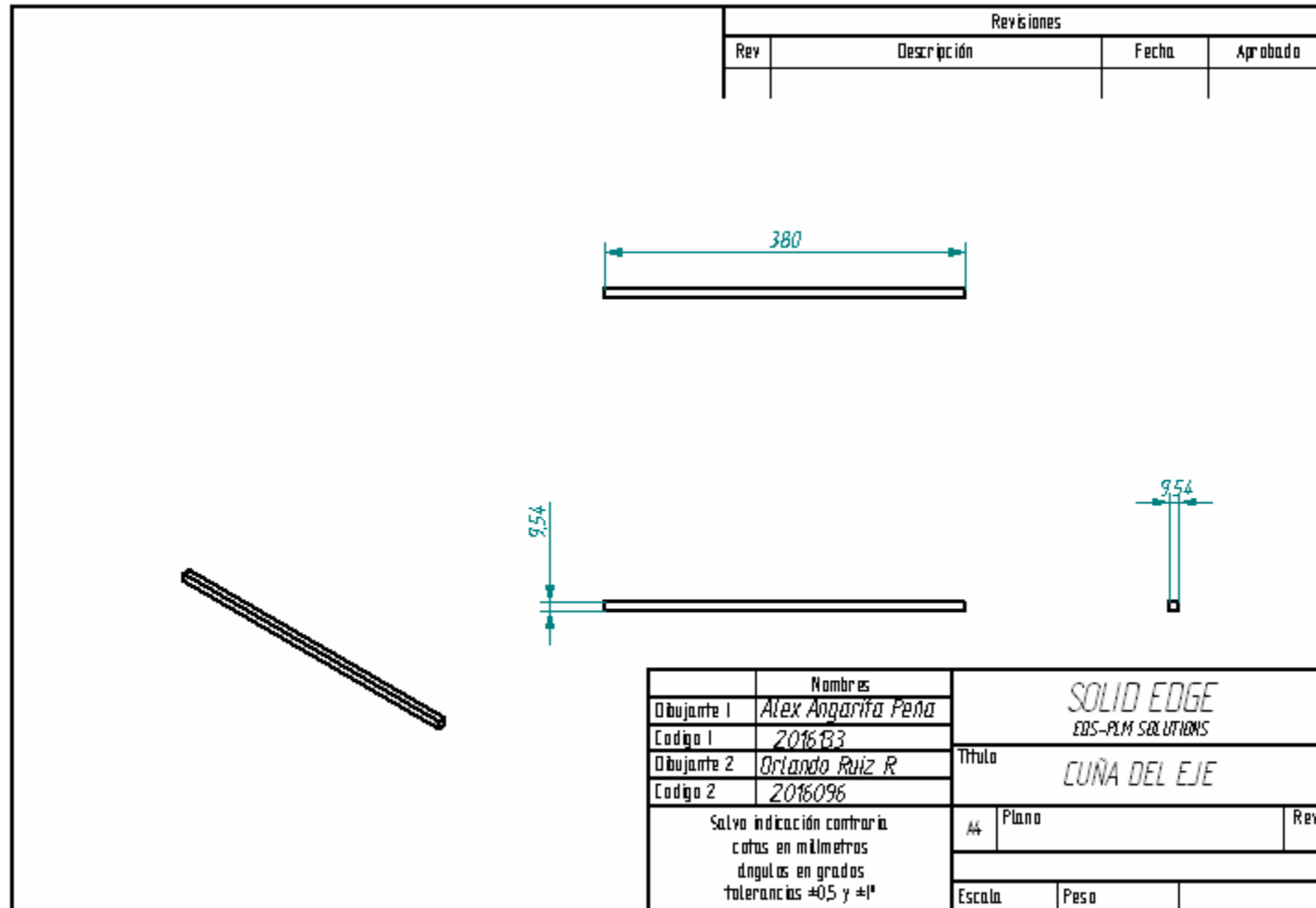


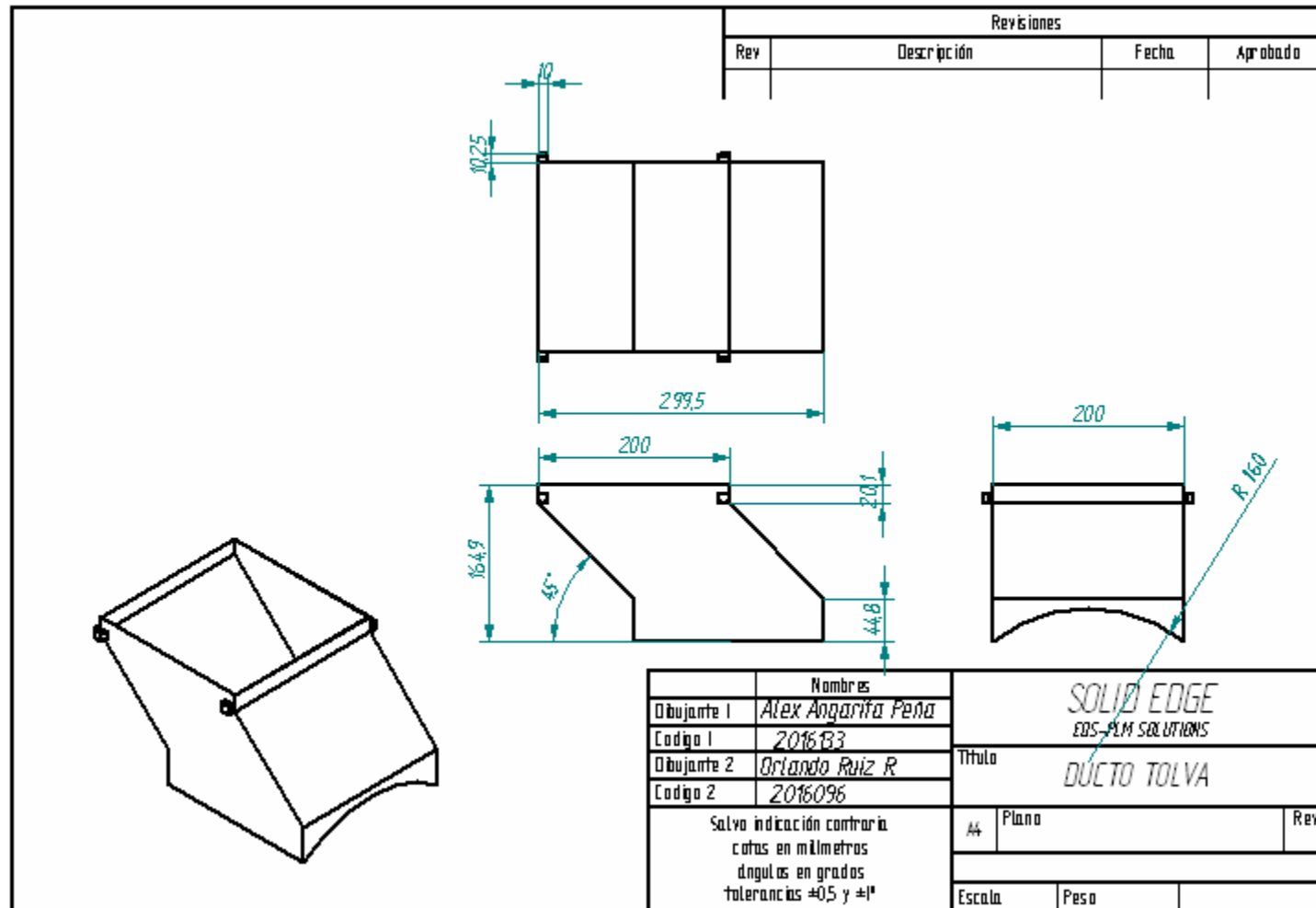








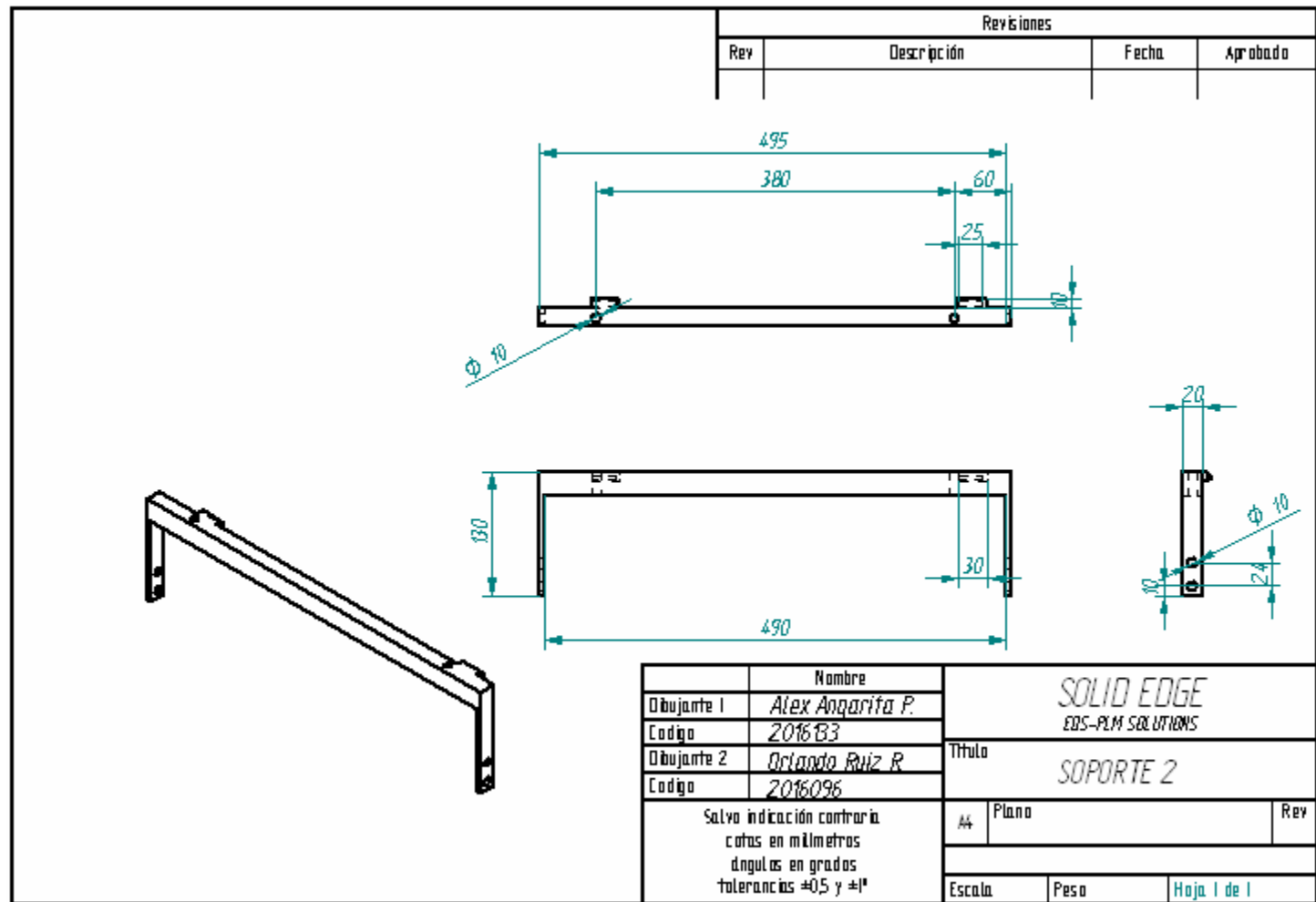




Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

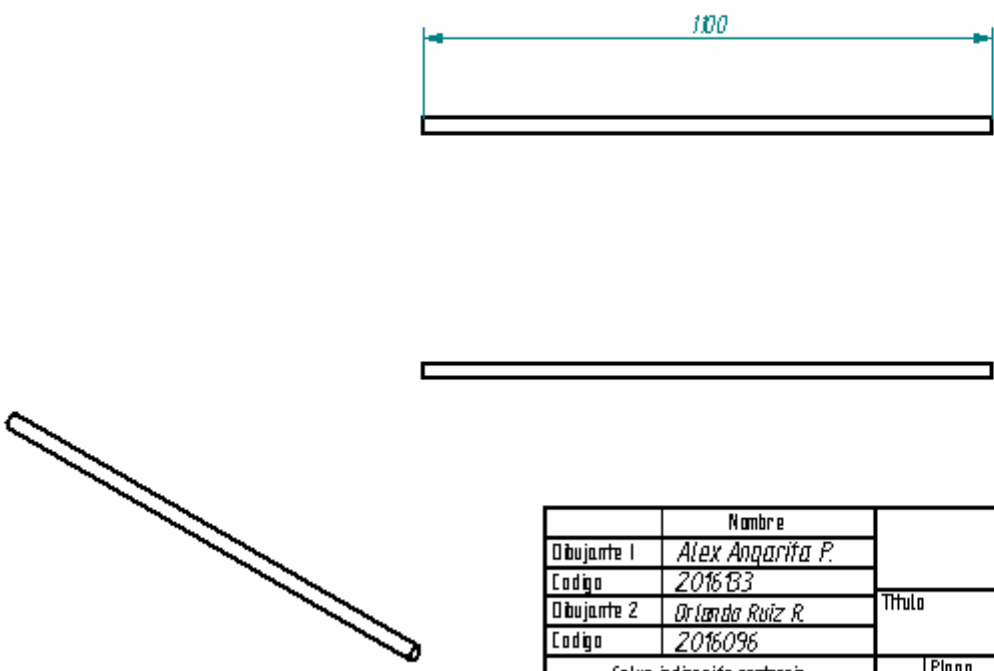
Salvo indicación contraria:  
 cotas en milímetros  
 ángulos en grados  
 tolerancias  $\pm 0.5$  y  $\pm 1^\circ$


Nombre		<b>SOLID EDGE</b> EDS-PLM SOLUTIONS  <b>Título</b> <b>SOPORTE 1</b>	
Dibujante 1	Alex Angarita P.		
Código	201603		
Dibujante 2	Orlando Ruiz R.		
Código	2016096	A4 Plano <span style="float: right;">Rev</span>	
Escala		Peso	Hoja 1 de 1



Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

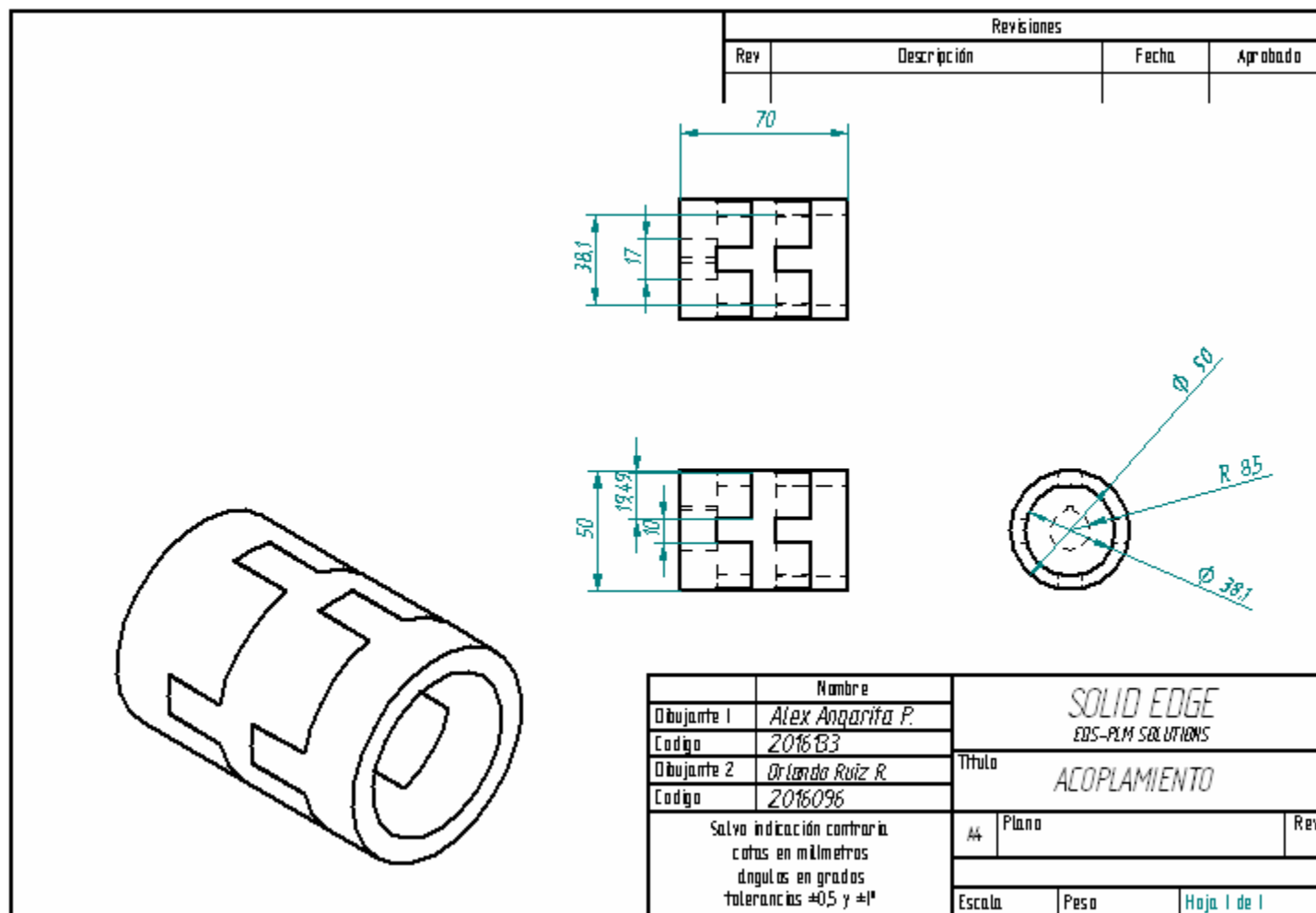
  

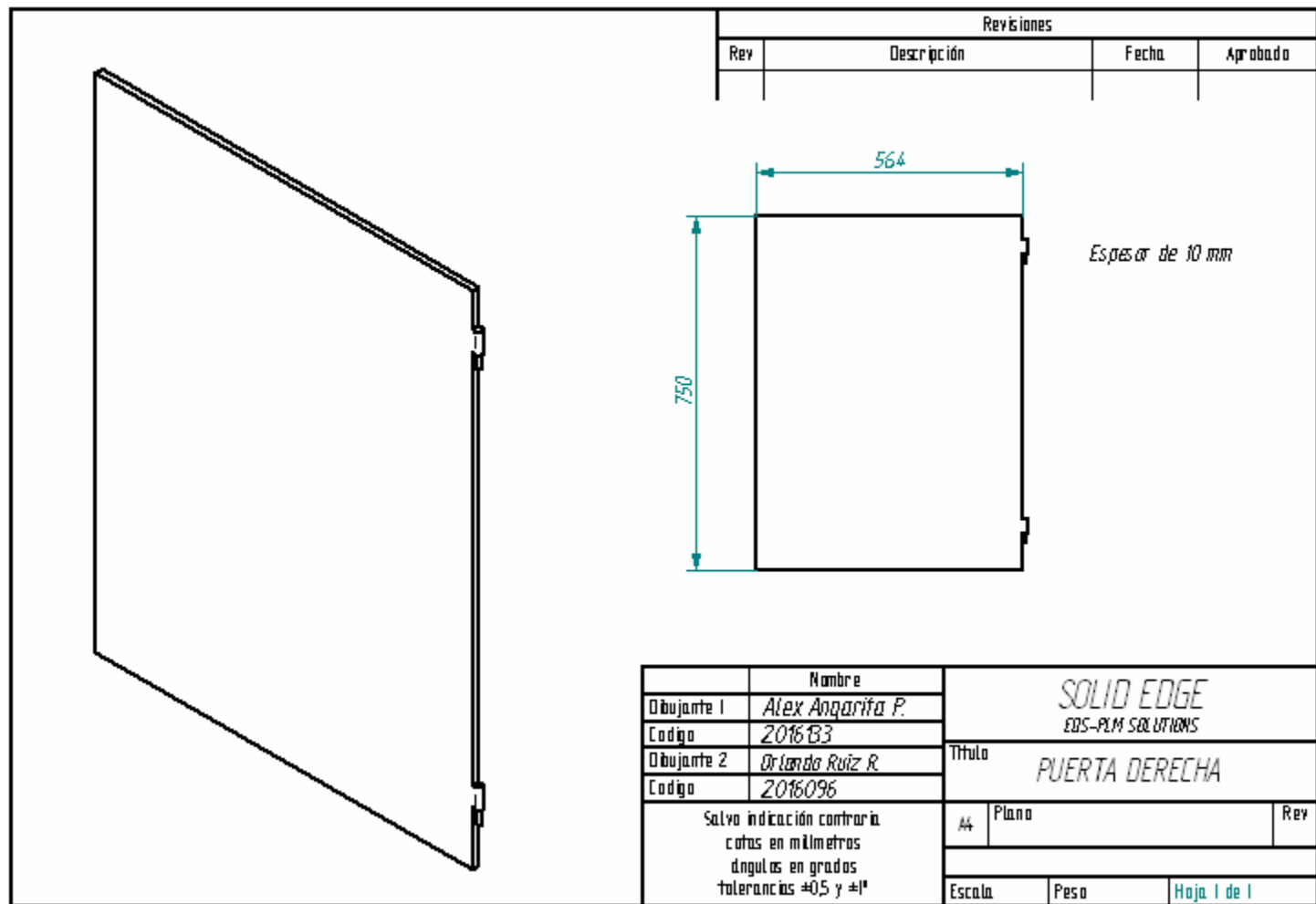




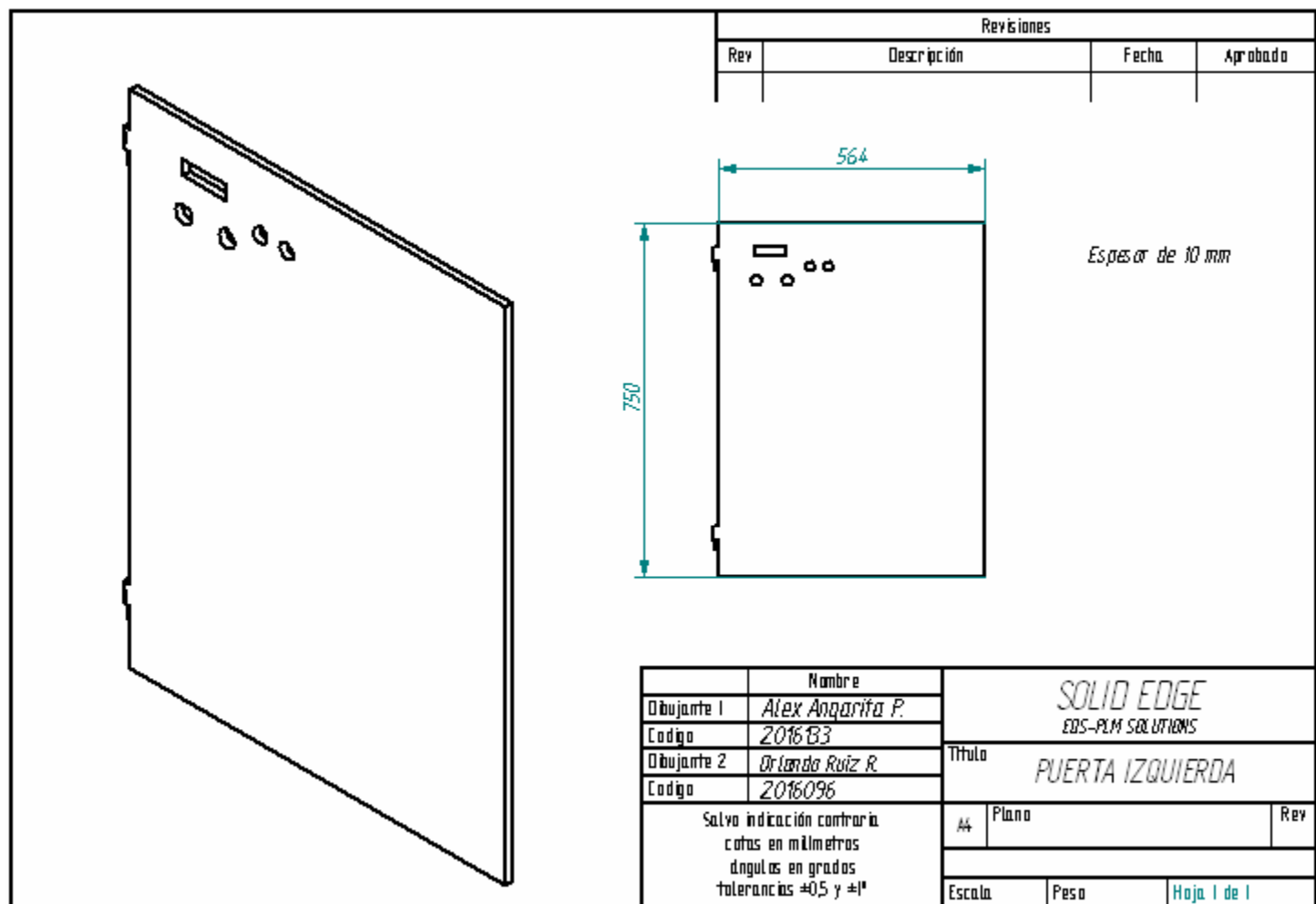
  

Nombre	SOLID EDGE		
Dibujante 1	ECS-PLM SOLUTIONS		
Código	EJE TOLVA		
Dibujante 2	Título		
Código	A4 Plano		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0.5 y ±1°		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	



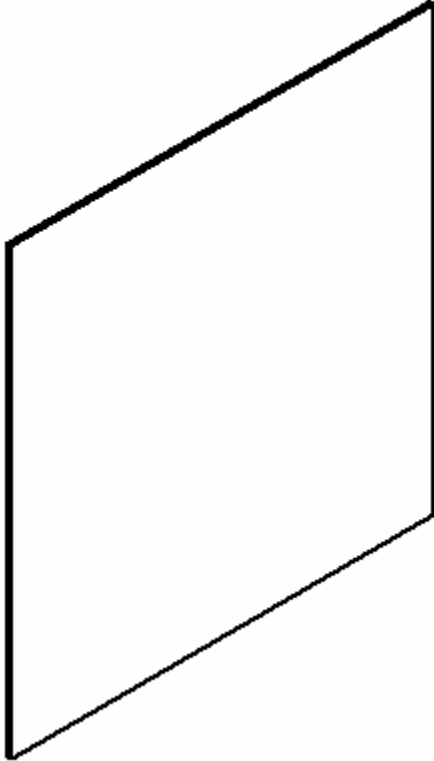


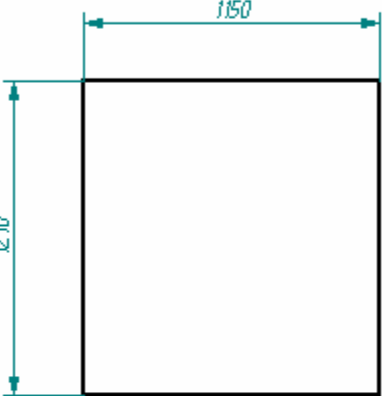




Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

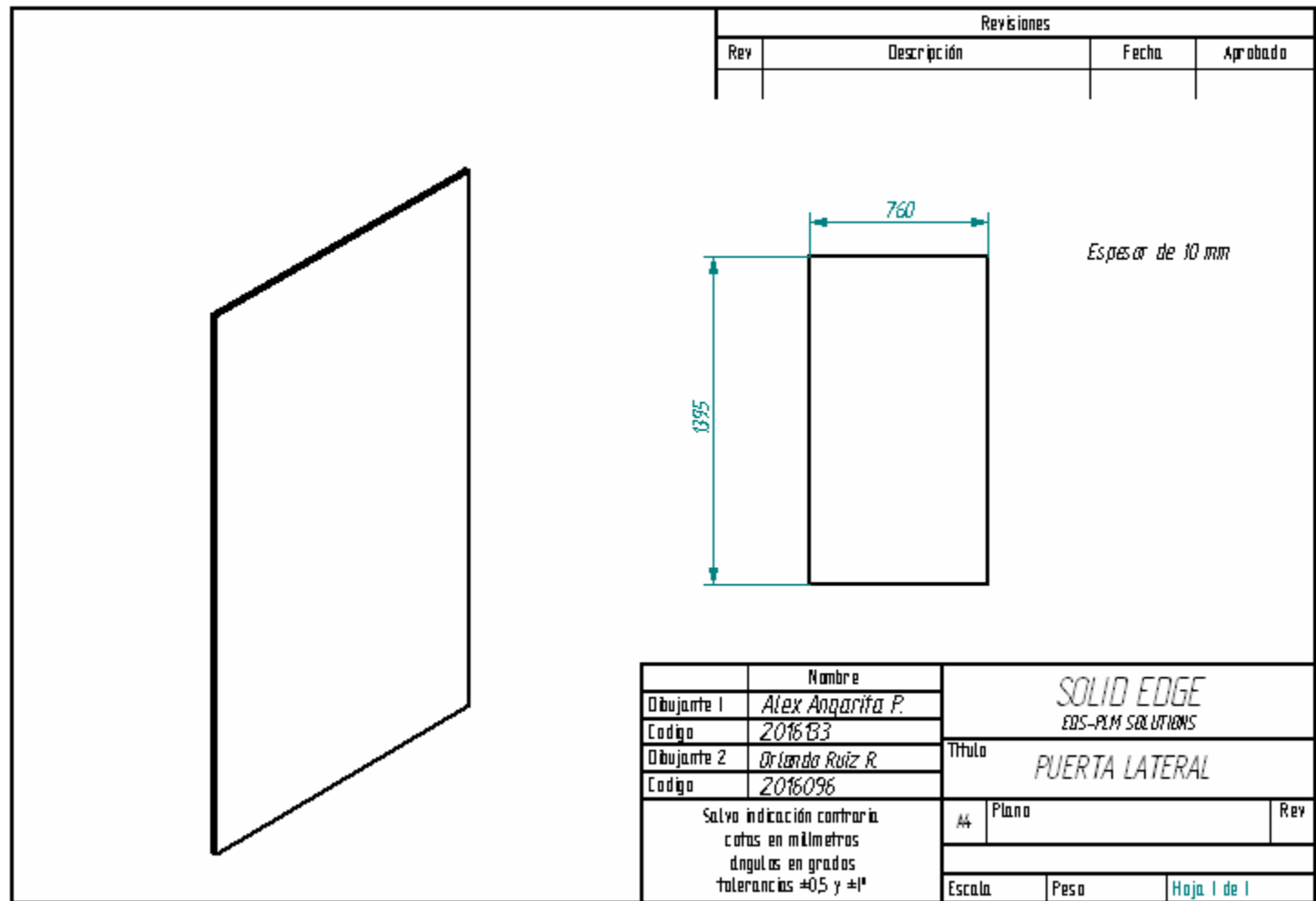




Espesor de 10 mm

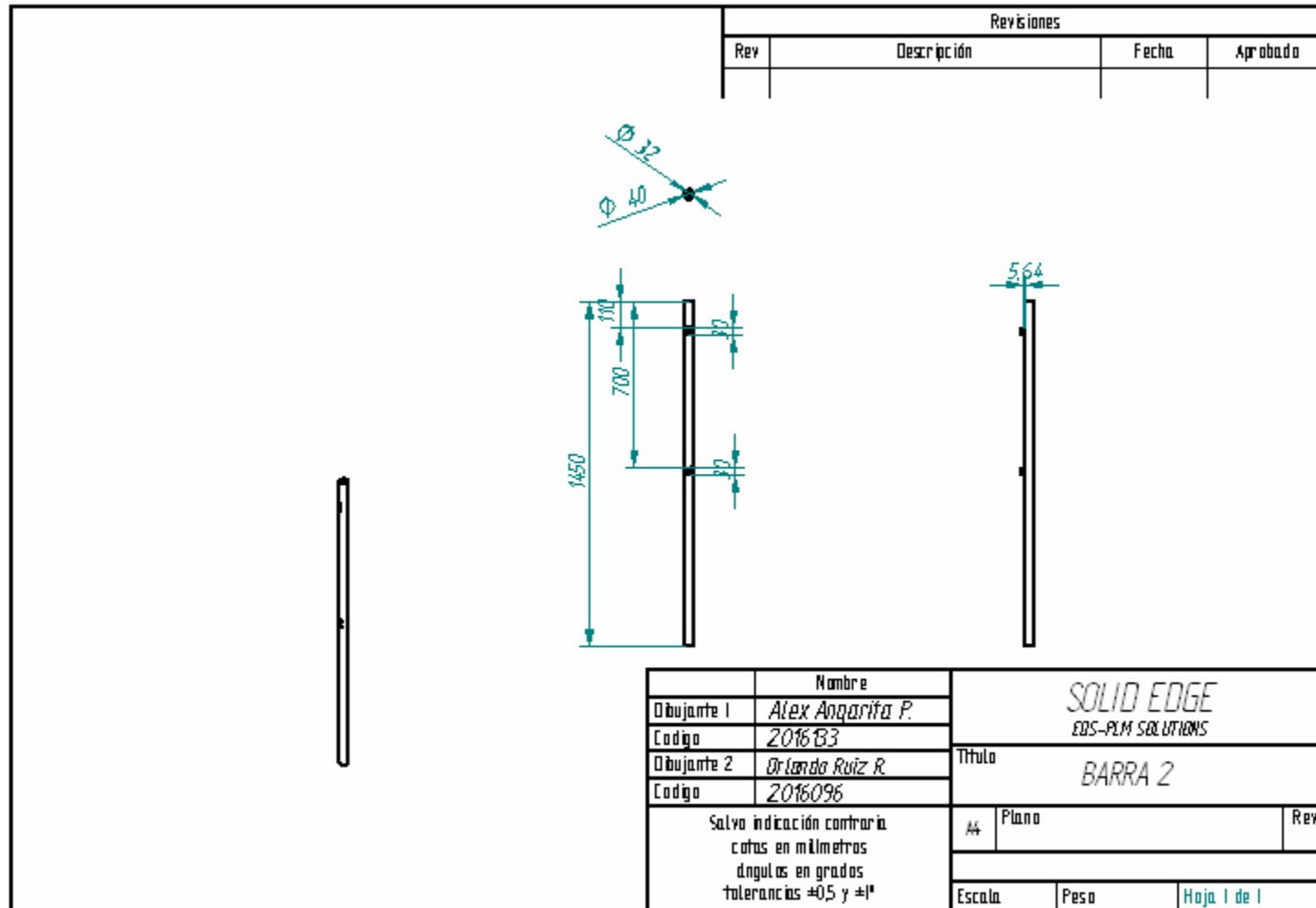
	Nombre	<i>SOLID EDGE</i> EDS-PLM SOLUTIONS	
Dibujante 1	<i>Alex Angarita P.</i>	Título <i>PUERTA POSTERIOR</i>	
Código	<i>2016B3</i>		
Dibujante 2	<i>Orlando Ruiz R.</i>	AA Plano <span style="float: right;">Rev</span>	
Código	<i>2016096</i>		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	



Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

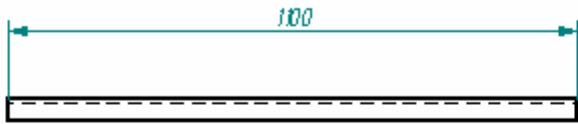

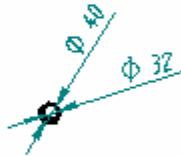
  
  

Nombre	SOLID EDGE		
Dibujante 1	Alex Angarita P.	EBS-PLM SOLUTIONS	
Código	2016B3	Título	
Dibujante 2	Orlando Ruiz R.	BARRA 1	
Código	2016096	Rev	
Salvo indicación contraria: cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$		A4	Plano
		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	

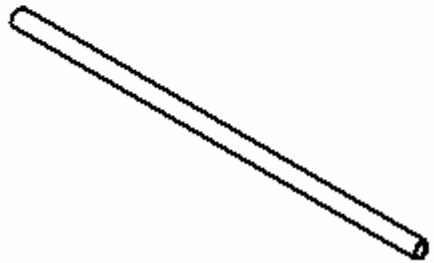


Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

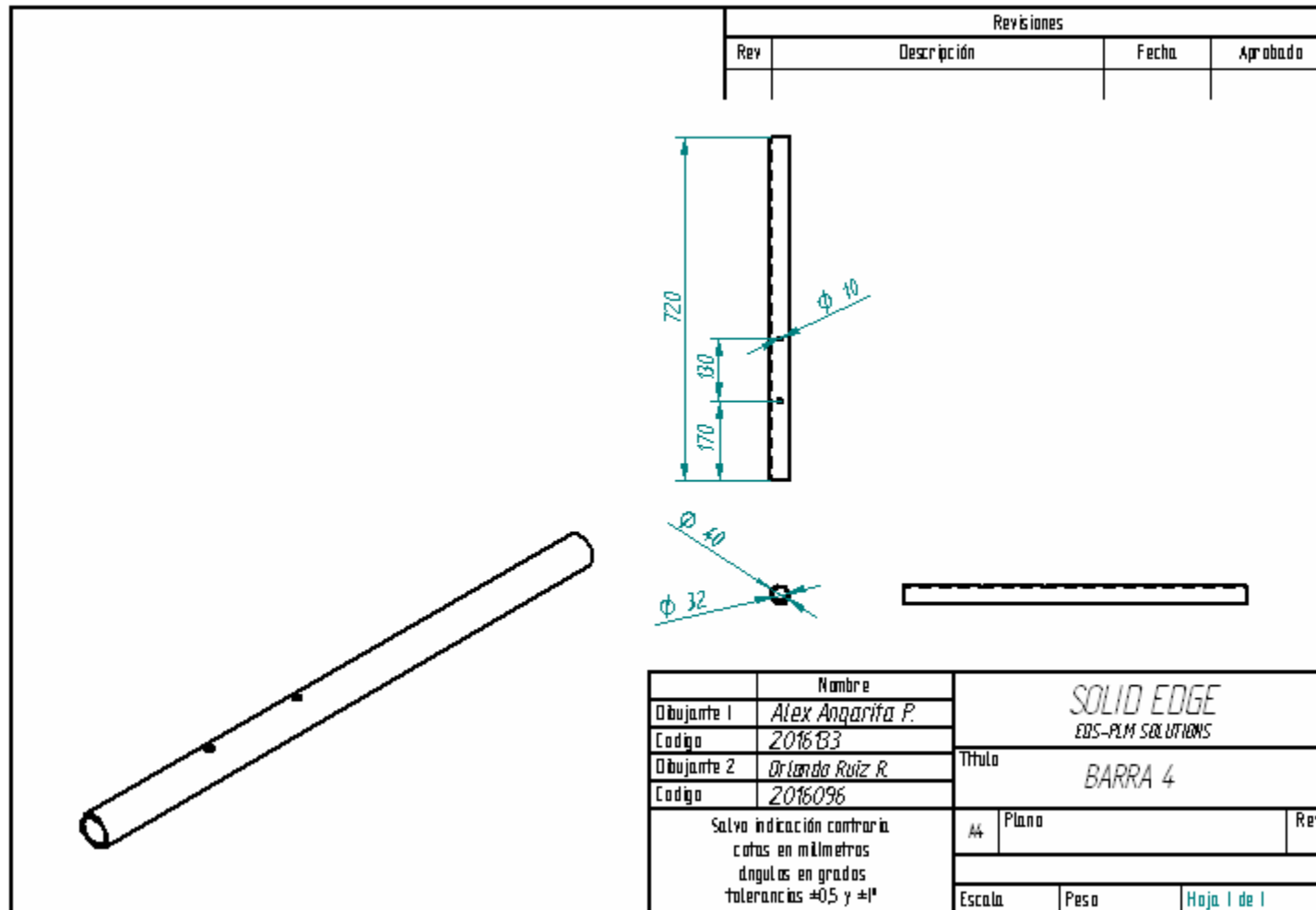
  

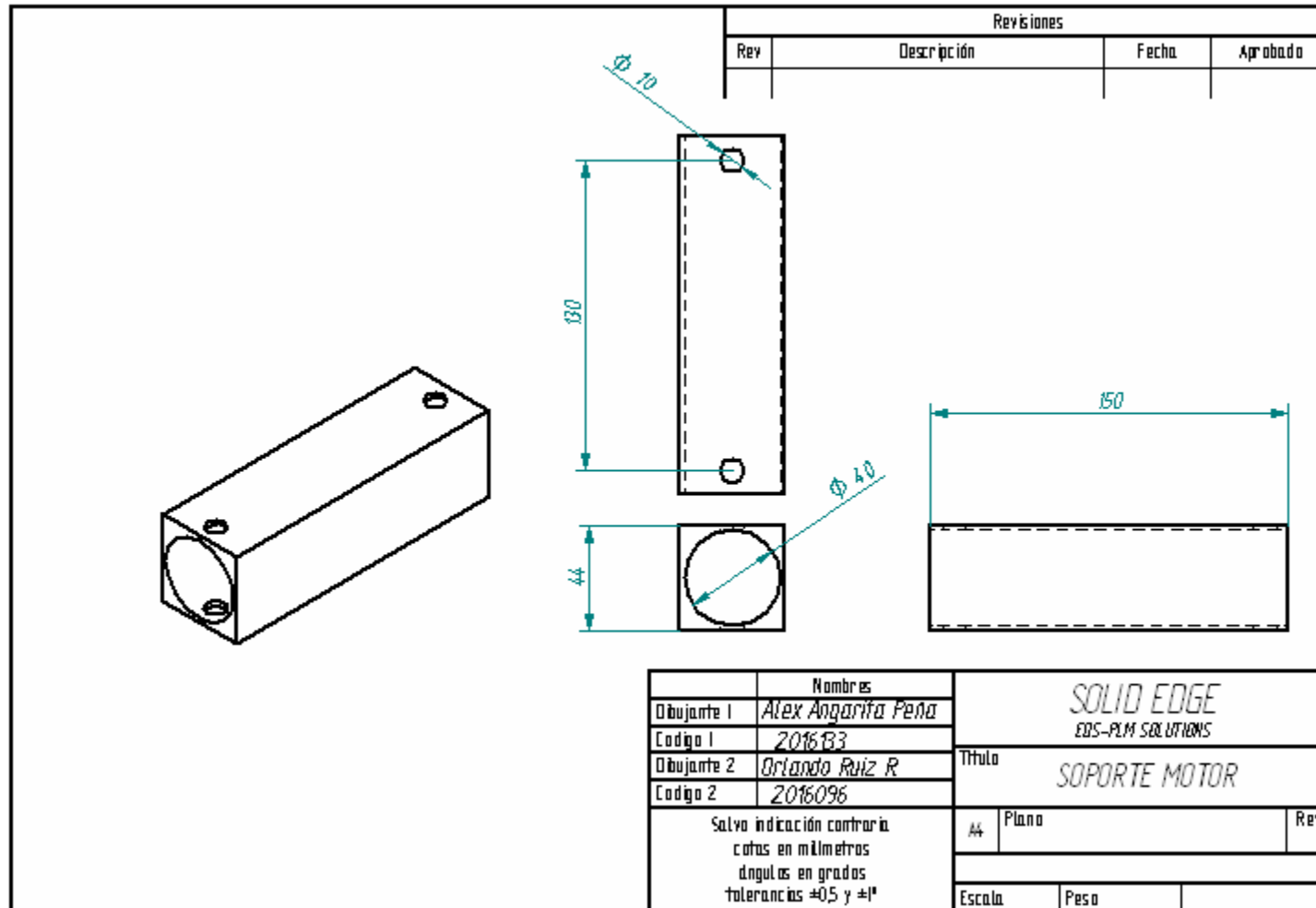






	Nombre	<b>SOLID EDGE</b> <i>EDS-PLM SOLUTIONS</i>		
Elaborante 1	<i>Alex Angarita P.</i>			
Código	<i>2016B3</i>			
Elaborante 2	<i>Orlando Ruiz R.</i>			
Código	<i>2016096</i>	Título		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0.5$ y $\pm 1^\circ$		A4	Plano	Rev
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1







## Apéndice Q. Planos electrónicos

